

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Výukový program předmětu – Zabezpečovací technika I

Tutorial Course – Aviation Safety Technology I

Student:

Marek Zajda

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. František Martinec, CSc.

Ostrava 2014

Zadání bakalářské práce

Student: **Marek Zajda**
Studijní program: B3712 Technologie letecké dopravy
Studijní obor: 3708R036 Technologie letecké dopravy
Téma: **Výukový program předmětu - Zabezpečovací technika 1**
Tutorial Course - Aviation Safety Technology 1

Zásady pro vypracování:

1. Analýza současného stavu řešení problému
2. Výběr problémů pro tvorbu výukového programu
3. Výběr prostředků pro tvorbu výukového programu
4. Návrh výukového programu
5. Realizace výukového programu pro předmět „Zabezpečovací letecká technika“

Seznam doporučené odborné literatury:

Volner, R.: Digitální technologie – Elektronické přístrojové systémy, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007.
Soldán V.: Letové postupy a provoz letadel, Praha: Letecká informační služba ŘLP ČR, s. p Praha, 2007, ISBN 978-80-239-8595-5
Jalovecký M.: Navigace, Brno: CERM Brno, 2002, ISBN 80-7204-246-7
Grotz M., Grotz K., Keller L.: Učebnice pilota – Letecká navigace, Cheb: SVĚT KŘÍDEL Cheb, 2011, ISBN 978-80-86808-90-1
Technický popis systémů pozemních prostředků letiště
http://cs.wikipedia.org/wiki/Instrument_Landing_System
<http://cs.wikipedia.org/wiki/DME>
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Radar>

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. František Martinec, CSc.**

Datum zadání: 17.02.2014

Datum odevzdání: 19.05.2014



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ STUDENTA

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 16.5.2014.....

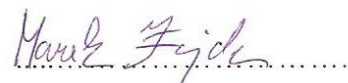
Marek Zajíc.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“ má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 16. 5. 2014


podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Marek Zajda

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Marie Pujmanové 1119/18,
Havířov 736 01

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ZAJDA, Marek *Výukový program předmětu - Zabezpečovací technika I.*

Ostrava: Institut dopravy - Ústav letecké dopravy, Fakulta strojní, VŠB - Technická univerzita Ostrava 2014, 77 stran

Vedoucí práce: Ing. František Martinec, CSc.

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou předmětu Zabezpečovací technika I. Toto téma je v angličtině známo pod názvem CNS (Communication, Navigation, Surveillance). Práce je složena ze dvou samostatných částí. První část je teoretická a druhou částí je výukový program pro prezentaci předmětu. Hlavním úkolem práce by mělo být přiblížení této problematiky studentům a její lepší pochopení pomocí prezentací, webových stránek a videa.

ANOTATION OF BACHELOR THESIS

ZAJDA, Marek *Tutorial Course - Aviation Safety Technology I.*

Ostrava: Institute of Transport - Department of Air Transportation, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB - Technical university of Ostrava 2014, 77 pages

Thesis head: Ing. František Martinec, CSc.

This thesis deals with the problem of subject Aviation Safety Technology I. In English this topic is better known as CNS (Communication, Navigation, Surveillance). The thesis consists of two separate parts. The first part is theoretical and the second part consists of a tutorial course for the presentation of the subject. The major objective of this work is to approach these questions for study and to better understand it by way of slide shows, websites and videos.

Obsah

Seznam použitých zkratk	9
0. Cíle bakalářské práce	11
1. Úvod	12
2. Definování zabezpečovací letecké techniky	13
2.1 Komunikace.....	14
2.2 Navigace	14
2.3 Sledování	14
2.4 Požadavky na zabezpečovací techniku.....	14
2.5 Analýza současného stavu.....	15
3. Přenos signálu elektromagnetickým vlněním	17
3.1 Elektromagnetické vlnění	17
3.1.1 Šíření elektromagnetického vlnění.....	17
3.1.2 Jevy vznikající při šíření elektromagnetických vln.....	18
3.1.3 Rozdělení rádiových vln.....	19
3.2 Sdělovací soustava	21
3.2.1 Vysílač	22
3.2.2 Přijímač.....	23
3.2.3 Superheterodynní přijímač.....	25
4. Radionavigační prostředky	26
4.1 Rozdělení radionavigačních prostředků	26
4.2 Nesměrový radiomaják NDB	27
4.2.1 Představení systému	27
4.2.2 Pozemní vybavení	27
4.2.3 Princip funkce	28
4.2.4 Typy NDB	30
4.2.5 Parametry systému	30
4.2.6 Palubní vybavení	30
4.2.7 Navigace s využitím NDB a ADF	32
4.2.8 Doslov	32
4.3 Vysokofrekvenční všesměrový radiomaják VOR.....	33
4.3.1 Představení systému	33
4.3.2 Pozemní vybavení	33
4.3.3 Jednotlivé typy VOR	35

4.3.4	Princip funkce	35
4.3.5	Parametry systému	37
4.3.6	Palubní vybavení	37
4.3.7	Dopplerovský všesměrový radiomaják DVOR	38
4.3.8	Navigace s využitím VOR	40
4.3.9	Doslov	40
4.4	Zařízení pro měření vzdálenosti DME	41
4.4.1	Představení systému	41
4.4.2	Pozemní vybavení	41
4.4.3	Princip funkce	42
4.4.4	Parametry systému	44
4.4.5	Palubní vybavení	44
4.4.6	Navigace s využitím DME	45
4.4.7	Doslov	45
4.5	Systém přístrojového přiblížení ILS	45
4.5.1	Představení systému	45
4.5.2	Pozemní vybavení	47
4.5.3	Princip funkce	49
4.5.4	Parametry systému	50
4.5.5	Palubní vybavení	51
4.5.6	Přístrojové přiblížení pomocí ILS	52
4.5.7	Doslov	52
5.	Prostředky sledování	53
5.1	Radiolokace obecně	53
5.2	Primární přehledový radar PSR	54
5.2.1	Představení systému	54
5.2.2	Princip funkce a jednotlivé prvky PSR	55
5.2.3	Parametry a vlastnosti primárního radaru	57
5.2.4	Doslov	59
5.3	Sekundární přehledový radar SSR	59
5.3.1	Představení systému	59
5.3.2	Princip funkce a jednotlivé prvky SSR	60
5.3.3	Parametry a vlastnosti sekundárního radaru	62
5.3.4	Doslov	63
5.4	Zobrazení radarové informace	63

6. Výukový program	67
6.1 Úvod	67
6.2 Tvorba internetových stránek	67
6.3 Tvorba prezentací	67
6.4 Letová simulace	68
6.5 Záznam letové simulace a úprava videa	68
6.6 Vytvoření výukového disku.....	69
7. Závěr	70
7.1 Zhodnocení dosažených cílů	70
Seznam zdrojů	71
Seznam obrázků	75
Seznam příloh.....	77

Seznam použitých zkratk

ADF	Automatic direction finder	Palubní automatický rádiový zaměřovač (kompas)
ADS	Automatic Dependent Surveillance	Automatický závislý přehled o vzdušné situaci
ADS-B	Automatic dependent surveillance-broadcast	Systém automatického závislého přehledového vysílání
AMS	Aeronautical mobile service	Pohyblivá služba mezi leteckými a letadlovými stanicemi nebo mezi letadlovými stanicemi navzájem
AMSS	Aeronautical mobile satellite services	Družicové spojení s letícími letadly („pohyblivé služby“)
DME	Distance measuring equipment	Měřič vzdálenosti
CVOR	Conventional VOR	Konvenční VOR
DGNSS	Differential GNSS	Diferenciální družicový systém
DVOR	Doppler VOR	Dopplerovský VOR
EHF	Extreme High frequency (30GHz to 300 GHz)	Milimetrové vlny (30GHz až 300 GHz)
GNSS	Global Navigation Satellite System	Globální družicový polohový systém
GP	Glide path	UKV sestupový maják
HF	High frequency (3000 to 30 000 kHz)	Dekametrové krátké vlny KV (3000 až 30 000 kHz)
HZ	Hertz (cycle per second)	Hertz (cykly za sekundu)
ILS	Instrument landing system	Standartní systém přesných přibližovacích majáků
IM	Inner marker	Vnitřní polohové návěstidlo

KHZ	Kilohertz	Kilohertz (1 kHz = 1000 Hz)
KW	Kilowatts	Kilowatt (1kW = 1000 W)
LF	Low frequency (30 to 300 kHz)	Dlouhé vlny (30 až 300 kHz)
LLZ	Localizer	Kurzový maják ILS
M	Metres (preceded by figures)	Metr, jednotka délky (předcházeno číslicemi)
MF	Medium frequency (300 to 3 000 kHz)	Hektametrové (střední) vlny (300 až 3 000 kHz)
MKR	Marker radio beacon	Návěstidlo (rádiové) 75 MHz
MM	Middle marker	Střední polohové návěstidlo
NDB	Non-directional radio beacon	Nesměrový radiomaják
NM	Nautical mile	Námořní míle (1,852 km)
PSR	Primary surveillance radar	Primární přehledový radar
RNAV	Area navigation	Prostorová navigace
RWY	Runway	Vzletová a přistávací dráha VPD
S	Seconds	Sekunda
SHF	Super high frequency (3000 to 30 000 MHz)	Centimetrové vlny (3000 až 30 000 MHz)
SSR	Secondary surveillance radar	Sekundární přehledový radar
UHF	Ultra high frequency (300 to 3 000 MHz)	Decimetrové (ultrakrátké) vlny UKV (300 až 3 000 MHz)
VDF	Very high frequency direction-finding station	Zaměřovací stanice pracující na velmi krátkých vlnách
VHF	Very high frequency (30 to 300 MHz)	Metrové (velmi krátké) vlny VKV (30 až 300 MHz)
VLF	Very low frequency (3 to 300 kHz)	Myriametrové vlny (3 až 30 kHz)
VOR	VHF omnidirectional radio range	VKV všesměrový radiomaják

0. Cíle bakalářské práce

Úkolem této bakalářské práce je vytvoření výukového programu, který by usnadnil studentům cestu problematikou zabezpečovací letecké techniky využívané v letectví pro navigaci, přiblížení k letišti a sledování letadel pomocí prostředků, jimiž jsou naváděna dle letového plánu službou letového provozu.

V teoretické části práce se nejdříve písemně zaměřím na popis základních fyzikálních principů, kterých se využívá v pozemní zabezpečovací technice, dále se snažím co možná nejvýstižněji rozebrat jednotlivé pozemní vybavení určené k navigaci letadel a jejich přiblížení na letiště. Tato zařízení se v jednotlivých kapitolách pokusím seřadit dle technické náročnosti jejich řešení, od jednodušších ke složitějším. V dalším pokračování práce se zaměřím na systémy, které jsou používány ke sledování letadel na své cestě vzdušným prostorem tj. radarovou technikou a radiolokací obecně.

Praktickou část své práce chci pojmout multimediální formou, ve smyslu vytvoření srozumitelných prezentací v programu Microsoft PowerPoint, dále pak tvorbou webových stránek, na kterých se seznámíte s popisovanými prostředky zabezpečovací techniky a můžete také využít odkazů na jiné webové stránky věnované této problematice z oblasti letectví. Na mých webových stránkách jsou k dispozici vytvořené prezentace ke stažení. Vytvořením záznamu pomocí programu Fraps ze simulátoru Microsoft Flight Simulator 2004 se pokusím názorně ukázat využití některých navigačních prostředků z pohledu pilotní kabiny na přiblížení k letišti. Výstupem této části práce poté bude DVD disk zahrnující tyto výukové nástroje.

1. Úvod

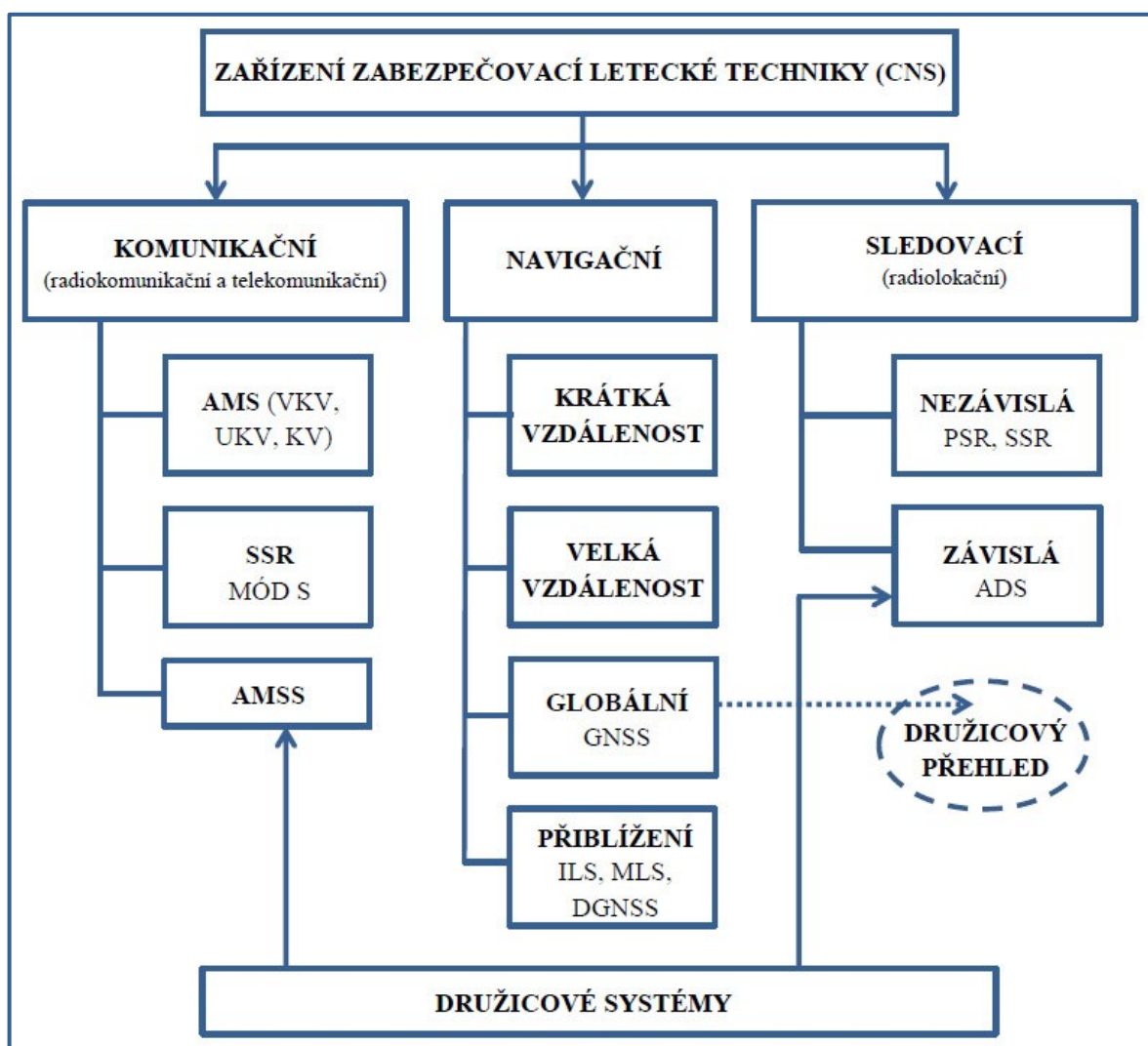
Má práce se zabývá popisem některých radionavigačních a sledovacích zařízení z oblasti Zabezpečovací letecké techniky, která je v angličtině známá jako CNS (Communication, Navigation, Surveillance). Rozvoj letecké pošty a potřeba dálkových letů po první světové válce uspořádala vývoj navigačních prostředků v oblasti letecké dopravy. S využitím znalostí o elektromagnetickém záření, zejména pak rádiových vln se začalo odvíjet nové období v letecké navigaci, radionavigace. Ta umožnila provádět lety i bez přímé viditelnosti země, v období zhoršené viditelnosti a také v noci. Mezi hlavní účely radionavigačních prostředků patří zejména určení polohy vůči určitému bodu trati nebo letišti a indikace těchto informací posádce na palubě letadla.

Ve druhé kapitole se zaměřím na vymezení Zabezpečovací letecké techniky a její historický vývoj. Poté se obeznámíme s fyzikálními principy a prostředky, které tato technika využívá. Probereme si elektromagnetické spektrum a blíže si popíšeme šíření a chování rádiového vlnění. Následující kapitola bude zaměřena na základní pojmy v letecké navigaci a rozdělení radionavigačních prostředků. Popisem těchto jednotlivých prostředků se začnu zabývat od kapitoly č. 4. Jako první se zaměřím na jedno z nejstarších zařízení, nesměrový radionavigační maják NDB (Non-directional radio beacon). Dalšími popsányi pozemními zařízeními budou konvenční všesměrový radiomaják CVOR (Conventional VHF omni-directional radio range) a jeho vylepšená verze, dopplerovský všesměrový radiomaják DVOR (Doppler VHF omni-directional radio range). Tyto radiomajáky odstraňují mnoho chyb, se kterými se setkáváme při používání NDB. Kapitola 4.4 se zabývá systémem k určení nepřetržité a přesné indikace šikmé vzdálenosti letadla, dálkoměrným měřicím systémem DME (Distance measuring equipment). K prostředkům pro přesné přiblížení na přistání patří systém přesných přibližovacích majáků ILS (Instrument landing system) z kapitoly č. 4.5. Pátá kapitola teoretické části práce zahrnuje systémy pro sledování, které se zabývají radiolokací. Z tohoto tématu jsem si pro popis vybral systém primárního radaru PSR (Primary surveillance radar) a sekundárního radaru SSR (Secondary surveillance radar). Také si ukážeme možnosti zobrazování informací o polohách a dalších údajích ze zaměřovaných cílů.

Závěrečná část práce bude objasňovat zvolený software pro vytvoření výukového programu a postupy, kterými jsem se řídil v jeho jednotlivých částech.

2. Definování zabezpečovací letecké techniky

Jako zabezpečovací leteckou techniku si můžeme představit celou řadu zařízení z oblasti slaboproudé elektrotechniky a elektroniky, vyráběné speciálně pro použití v letectví. Zabezpečovací letecká technika je v angličtině známá jako CNS (Communication, Navigation, Surveillance). Mezi systémy zabezpečující bezpečnost a pravidelnost letecké přepravy náleží této technice významné postavení. Správně a plně využívat možnosti těchto prostředků je nezbytné k ulehčení práce službám letového provozu a posádkám letadel, zvýšení bezpečnosti a zajištění kvalitních služeb pro cestující a veřejnost. [1]



Obr. 2.1. Schéma členění zabezpečovací letecké techniky

2.1 Komunikace

Komunikace mezi pozemním stanovištěm řízení letového provozu a posádkou na palubě letadla je nezbytná pro zajištění bezpečného provozu ve vzdušném prostoru. Soustava hlasové komunikace je tvořena hlavním, záložním a tísňovým systémem. Všechny systémy jsou vzájemně nezávislé a zajišťují tak vysokou spolehlivost. [12]

2.2 Navigace

Letecká navigace poskytuje posádkám letadel informace o poloze letadla vzhledem k danému bodu zemského povrchu. Tím může být například povinný hlásný bod, zeměpisné souřadnice nebo práh vzletové a přistávací dráhy. Prostředky letecké navigace neposkytují službám řízení letového provozu přímé údaje o poloze letadla nebo ostatních letadlech v okolí. Radionavigační systémy a zařízení využívají pro splnění svých úkolů elektromagnetického vlnění. Dle svého účelu se dělí na zařízení pro navigaci na krátkou nebo velkou vzdálenost a systémy pro přesné přiblížení na přistání. [1]

2.3 Sledování

Znalost přesné a spolehlivé polohy, případně jiných užitečných informací o letadlu je nezbytnou součástí poskytování letových provozních služeb. K tomuto účelu využíváme proces radiolokace pomocí primárních nebo sekundárních radarů. Dalšími prostředky zjišťování mohou být multilaterační systémy a systémy ADS-B. Radarové prostředky jsou velmi složité a obsahují velký počet různých součástí. Zjednodušeně je radarový systém tvořen vysílačem, přijímačem a indikátorem pro zobrazení informace o sledovaném objektu. [1], [12]

2.4 Požadavky na zabezpečovací techniku

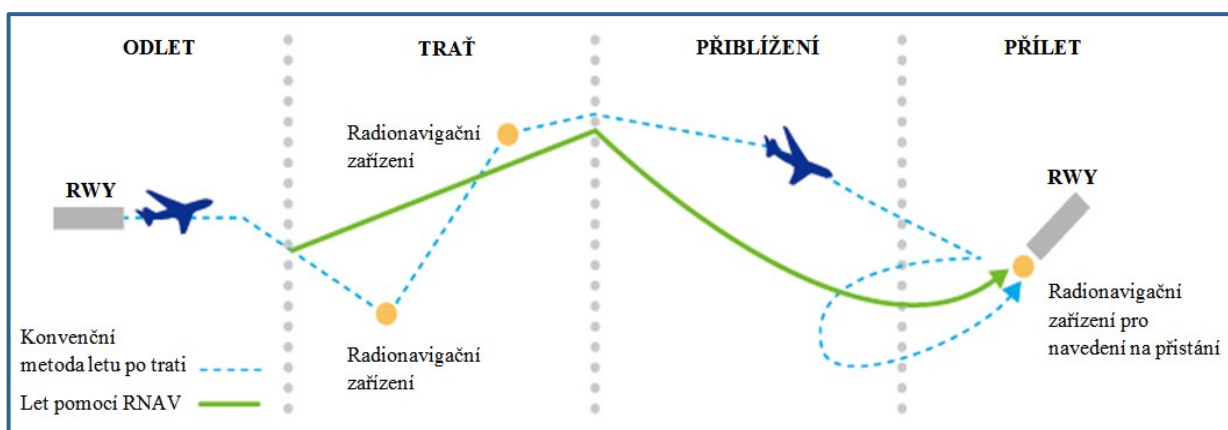
Hlavní požadované technické parametry nejdůležitějších zařízení jsou mezinárodně standardizovány v dokumentu ICAO „ANNEX 10 – Aeronautical Telecommunications“. Specifikace z tohoto annexu jsou převzaty i do národního předpisu L 10 „Předpis o civilní letecké telekomunikační službě“. Účelem této standardizace je zajištění součinnosti pozemních zařízení s palubním vybavením letadel ve světovém měřítku a dále pak mezinárodní spolupráci při přenosu dat. Specifikace zařízení a systémů nepopisují jejich technické řešení, ale přesně určují jejich vlastnosti z hlediska součinnosti systémů. Příkladem může být pracovní frekvence, intenzita elektrického pole, citlivost přijímače nebo používané kódy. [1]

2.5 Analýza současného stavu

V oblasti komunikace je v současnosti snaha o zavedení komunikace mezi řídicími letového provozu a posádkami letadel na bázi digitálního přenosu dat. Motivací k nahrazení standardní metody komunikace mezi ATC a pilotem, tedy hlasové komunikace pomocí rádia v pásmu VHF a HF na velké vzdálenosti, je hlavně navýšení kapacity letového provozu a ulehčení pracovního zatížení leteckého dispečera.

Využití datových spojů sníží manipulaci s rádiem a telefonem, přispěje ke zvýšení úrovně bezpečnosti zpřístupněním druhého komunikačního kanálu a redukci omylů, které vznikají díky neustálé nutnosti naslouchání veškeré ostatní letové komunikace dispečerů a nechtěných přeslechům i přes využívání správné frazeologie. [9]

Systém navigace pomocí využívání letových cest propojených společně s polohami pozemních radionavigačních zařízení VOR/DME začal být postupně zastaralým a nevyhovujícím z hlediska požadavků ekonomických a navyšování letového provozu. Zrodil se tak nový způsob prostorové navigace během fáze letu po trati RNAV.

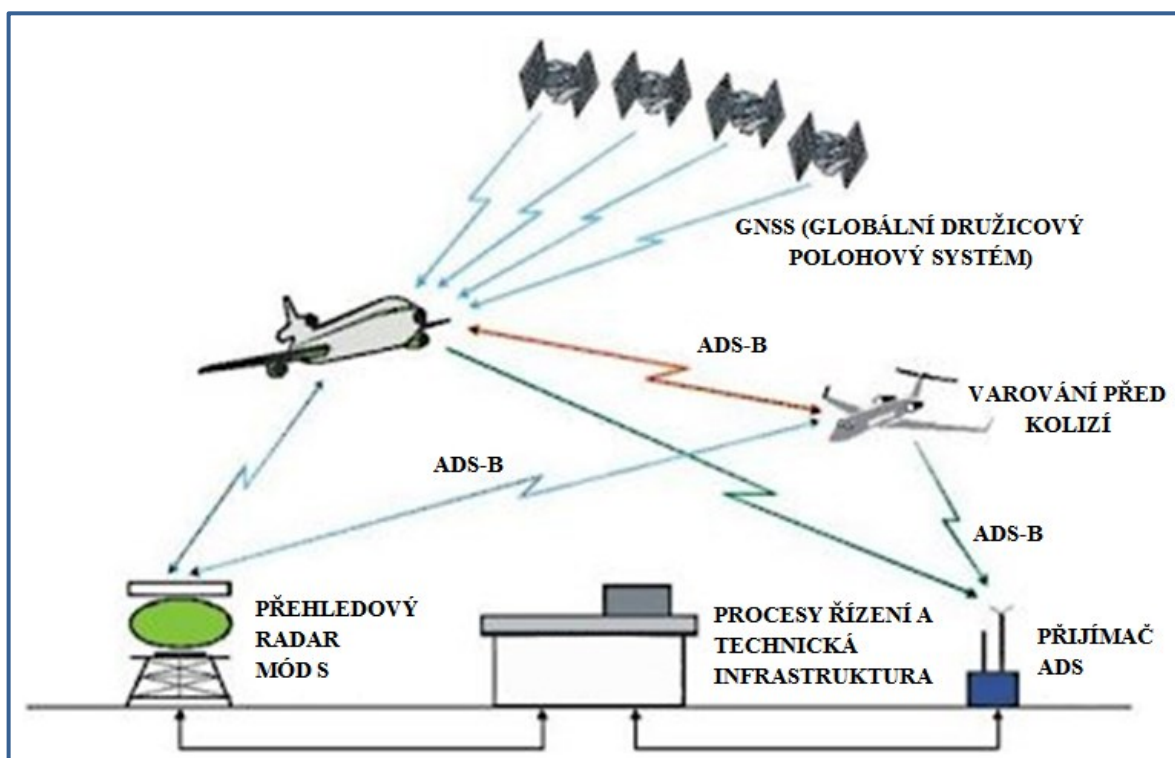


Obr. 2.5.1 Prostorová navigace oproti navigaci pomocí VOR [14]

K primárnímu druhu přiblížení podle přístrojů na přistání je využíváno systému přesného přiblížení ILS a postupně se vyřazují traťová návěstidla MKR na letištích se systémy DME. Do budoucna se počítá se systémy pro přistávání letadel založených na technologii diferenční korekce signálu GPS. Nepřesná přístrojová přiblížení NDB nebo VOR budou postupně rušena. Traťová zařízení VOR budou postupně vyřazována do ukončení jejich životnosti a zařízení DME v těchto lokalitách zachována jako záloha. Podmínkou rozvoje satelitních navigačních systémů je jejich schválení pro splnění požadavků na spolehlivost, přesnost, integritu a dostupnost a vydání provozně-technických předpisů. [10]

Vývoj v zóně sledovacích systémů směřoval díky požadavkům civilního a vojenského letectví k diferencii jednotlivých cílů na primárních radarech PSR, které samostatně rozpoznávat a odlišit letadla nemohou. Na obrazovce takového radaru vidíme cíle pouze jako bod. Výstup sekundárního radaru nám poskytuje kromě bodu další doplňující informace. Příkladem může být čtyřmístný číselný kód letounu nebo jeho aktuální barometrická výška v módu odpovídače C. Spojením zařízení primárního radaru, který produkuje informace o cílech a sekundárního radaru SSR, jež tvoří pozemní dotazovací stanici, došlo k doplnění obrazovky radaru o další důležité informace. Dalším velkým zlepšením v identifikaci letadel bylo zavedení odpovídače módu S, jež umožnilo další zdokonalení přehledu a také uplatnění v antikolizních systémech TCAS (Traffic alert and collision avoidance system). [13]

Rozšířením tohoto módu se aktuálně stává systém automatického závislého přehledového vysílání ADS-B. Systém zvyšuje bezpečnost tím, že lze každé letadlo vidět v reálném čase a nikoliv se zpožděním jak je známo u primárních či sekundárních radarů. Umožňuje vysílání a uchování dat a jejich následnou analýzu z hlediska bezpečnostních či výcvikových důvodů nebo velmi levné sledování a plánování letu. Kontinuální datový přenos o poloze, vektoru rychlosti a typu letounu slouží pozemním stanicím a dalším letounům vybaveným vhodnou technologií. [11]



Obr. 2.5.2 Schéma práce systému ADS-B [13]

3. Přenos signálu elektromagnetickým vlněním

Zabezpečovací technika si klade vysoké požadavky na přenos informací v různých formách, jako je například mluvené slovo, údaje z leteckých přístrojů a počítačová data. K tomuto účelu využívá prostředků sdělovací techniky. Signál (informace) se šíří prostorem prostřednictvím média, tímto médiem může být například vzduch, kapalina nebo pevná látka a vakuum. Oproti ostatním prostředím vakuum neobsahuje žádnou látku a tak se například akustická či elektrická energie v tomto prostředí šířit nemůže. Jiným případem je elektromagnetické vlnění, které se šíří prostorem bez potřeby jakéhokoli média. Je proto ideální typem energie vhodné pro přenos informací. [15]

3.1 Elektromagnetické vlnění

Zdrojem tohoto typu vlnění je elektromagnetický oscilátor, jehož chování lze popsat vzájemnými přeměnami energie elektrického E ($\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$) a magnetického pole H ($\text{A}\cdot\text{m}^{-1}$). Obě tato pole jsou proměnná v čase a mění tak svou amplitudu I_m , U_m z nuly do kladného maxima, zpět do nuly, dále do záporného maxima a zpět do nuly. Děj se dále znovu stejně opakuje. Dalšími parametry takového periodického děje jsou frekvence f (Hz) udávající počet cyklů za sekundu, fáze φ bezrozměrná veličina, která je parametrem závislosti časového průběhu, vlnová délka λ (m) vyjadřující vzdálenost, kterou elektromagnetické vlnění urazí během jednoho cyklu a perioda T (s), časový úsek, v němž proběhne cyklus změny amplitudy od nuly k oběma maximům a zpět. Grafickým znázorněním časového průběhu těchto změn je sinusoida.

3.1.1 Šíření elektromagnetického vlnění

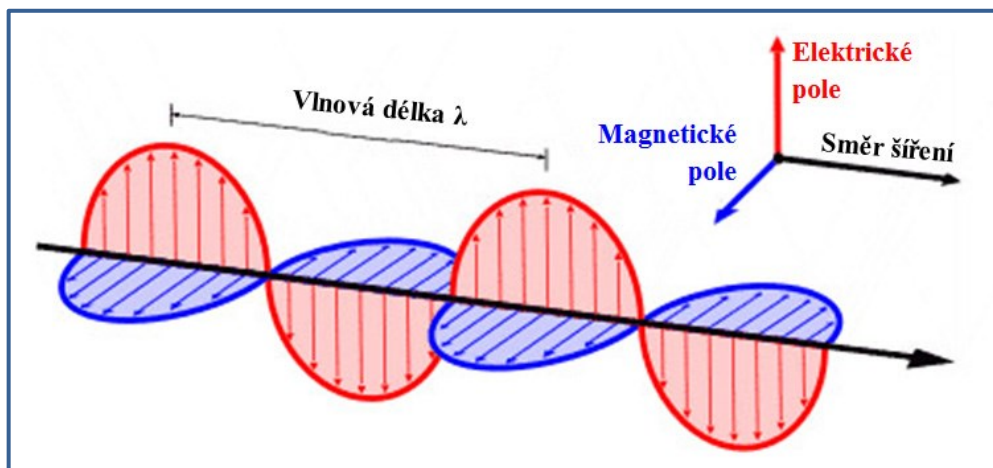
V dostatečné vzdálenosti od zdroje vlnění můžeme předpokládat, že složky magnetického a elektrického pole jsou na sebe kolmé a rovina, kterou určují je kolmá na směr šíření vlny.

Elektromagnetické vlnění se šíří v různých prostředích různou rychlostí. Nejrychleji ve vakuu, kde dosahuje rychlosti $c = 299\,792\,458$ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$). Tato rychlost se v různých prostředích šíření zmenšuje. V zemské atmosféře například klesá na 95% c .

Rychlost šíření vlnění je dána vztahem

$$c = \lambda \cdot f,$$

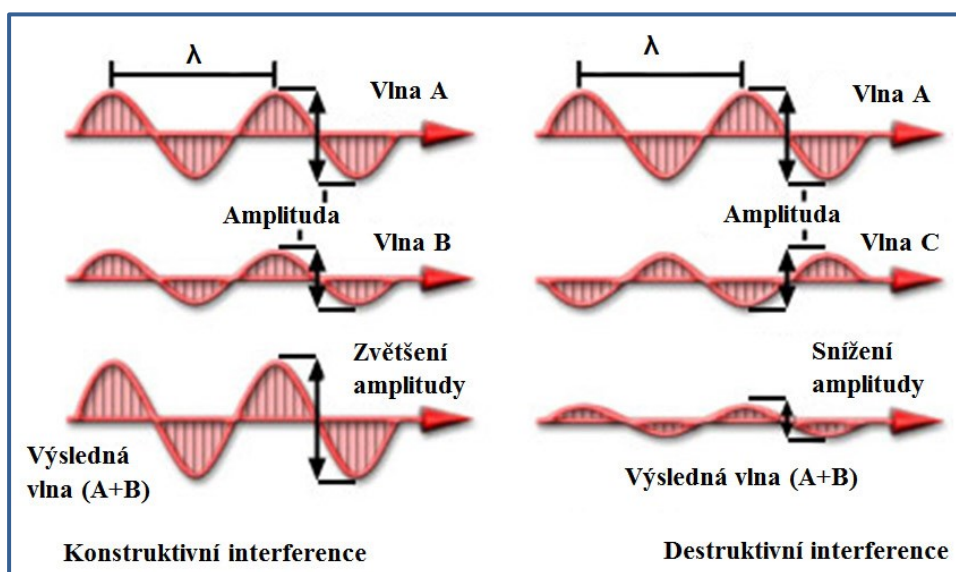
kde c je rychlost šíření vlnění v $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, f je frekvence v Hz a λ vlnová délka v m.



Obr. 3.1.1 Šíření elektromagnetických vln [17]

3.1.2 Jevy vznikající při šíření elektromagnetických vln

Při šíření elektromagnetického vlnění prostorem vznikají obdobné jevy jako u mechanického vlnění. Mezi nejdůležitější patří například odraz vlnění od překážky, kdy při dopadu vlnění kolmo na překážku vyzářeného zdrojem, se při odrazu vlnění interferuje s postupujícím vlněním a v prostoru mezi zdrojem a překážkou vzniká stojaté vlnění. Vlnění, které dopadá na vodivou překážku pod určitým úhlem, se odráží podle zákona odrazu. Čím kratší je vlnová délka vlnění, tím se tento zákon projevuje více. [16]



Obr. 3.1.2 Interference vlnění [18]

Vlnová délka elektromagnetického vlnění má také značný vliv na vznik stínu za překážkou a na ohyb vlnění. Je-li rozměr plošného vodiče značně větší než vlnová délka, nepronikne vlnění za překážku a za plošným vodičem vzniká stín vlnění. Jsou-li rozměry překážky malé ve srovnání s vlnovou délkou, vlnění za překážku proniká, ale část energie vlnění se odráží. [16]

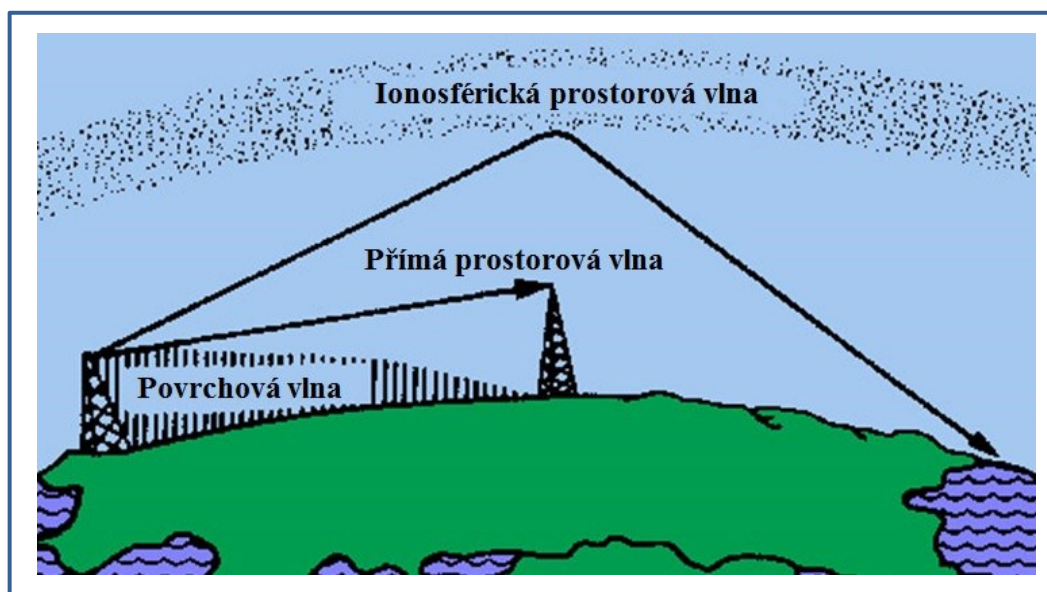
Při šíření elektromagnetických vln má vlnová délka také vliv v souvislosti s šířením vln pomocí antén radioelektronických zařízení. Vlnové délky těchto zařízení se pohybují v rozsahu přibližně 10^4 m až 10^{-3} m. [16]

3.1.3 Rozdělení rádiových vln

Jednotlivé druhy elektromagnetických vln se navzájem liší svými vlastnostmi a způsoby šíření, což určuje jejich použití pro dané aplikace.

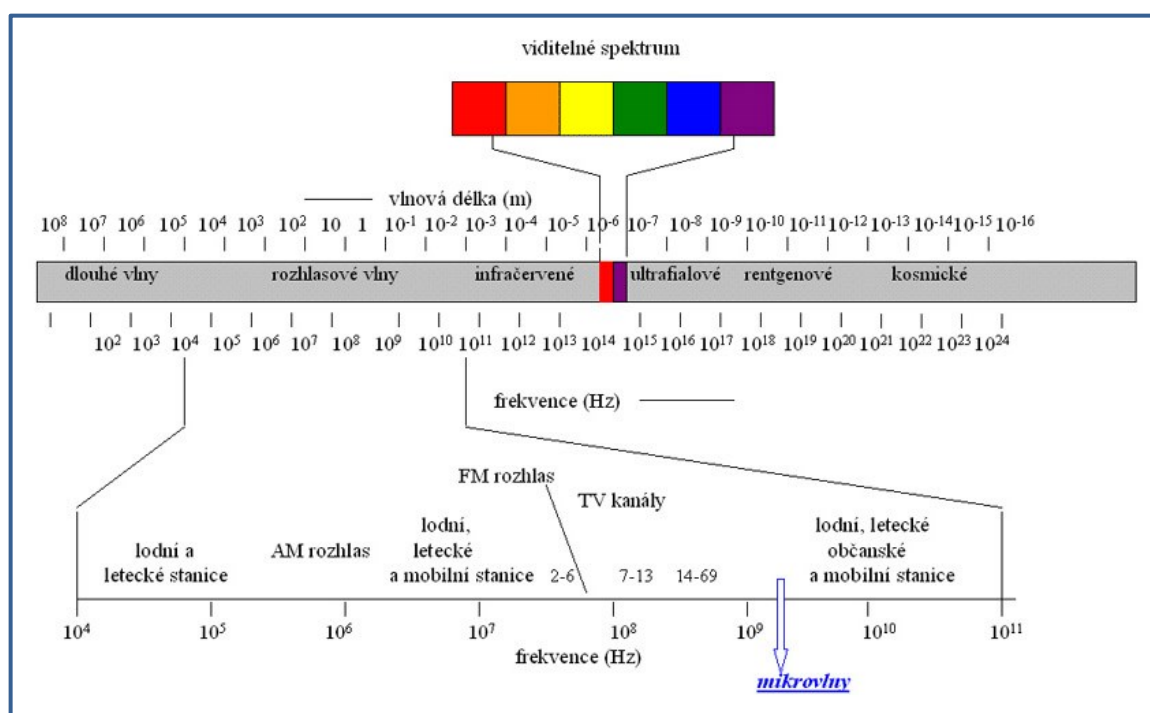
- Velmi dlouhé vlny (VDV, anglicky VLF) se šíří po celé zeměkouli. Používají se hlavně pro celosvětové navigační soustavy, pro námořní a leteckou dopravu. Dlouhá vlna se zatočí, využívá se rozměrných antén.
- Dlouhé vlny (DV, anglicky LF) se používají pro radiokomunikaci, meteorologii a pro rozhlas na DV. Používají se pro spojení na velké vzdálenosti.
- Střední vlny (SV, anglicky MF) se využívají pro radionavigaci, sdělovací služby a pro rozhlas na SV.
- Krátké vlny (KV, anglicky HF) slouží pro radiokomunikaci na střední a velké vzdálenosti a pro rozhlasové vysílání.
- Velmi krátké vlny (VKV, anglicky VHF) jsou využity na vysílání frekvenčně modulovaného rozhlasového vysílání a pro některé televizní kanály (I., II. a III. tel. pásmo), sdělovací služby omezeného dosahu (hasiči, policie).
- Ultra krátké vlny (UKV, anglicky UHF) poskytují televizní kanály ve IV. a V. pásmu, radiokomunikaci na krátké vzdálenosti, radioreléové a kosmické spoje, radiolokaci a radionavigaci.
- Centimetrové vlny (SKV, anglicky SHF) poskytují funkci radioreléovým spojům, protože se dají vysílat v úzkých svazcích v určeném směru, vícenásobné telefonii, radiolokátorům a družicovým spojům.
- Milimetrové vlny (EKV, anglicky EHF) nalézají uplatnění u přesných přistávacích a říčních lokátorů, radiovýškoměrů, speciálních radioreléových spojích a telekomunikaci na vláknových světlovodech.

- Další vlny mohou být subminiaturní, které již hraničí s infračerveným zářením, poté následuje viditelné světlo, ultrafialové a rentgenové záření.



Obr. 3.1.3 Způsoby šíření rádiových vln [20]

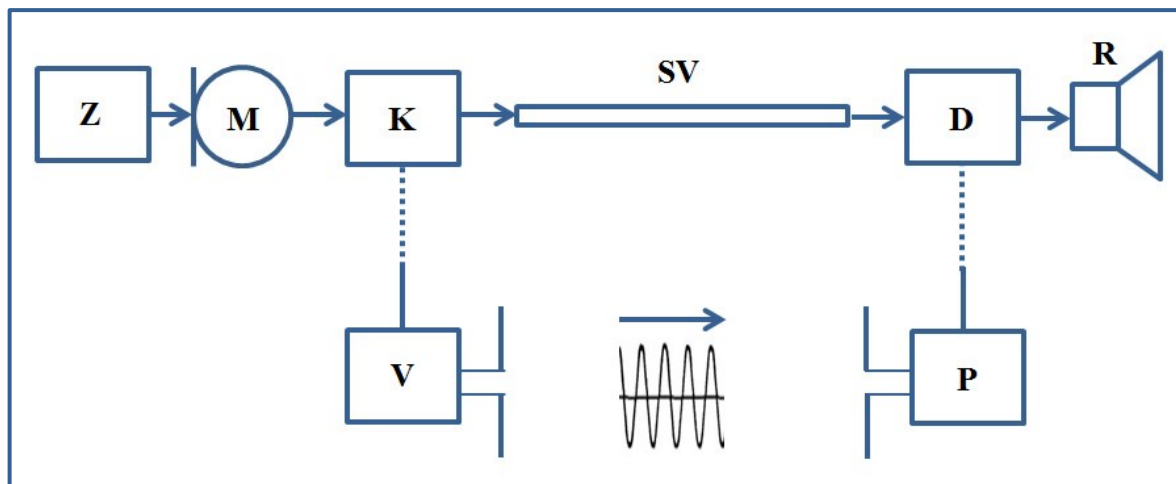
U dlouhých a středních vln se ve velké míře uplatňuje ohyb vlnění podél zemského povrchu. Pro příjem v pásmu VKV, požadujeme přibližně přímou viditelnost mezi přijímačem a vysílačem. KV využívají odrazu od ionosféry, která se chová vůči elektromagnetickému záření jako vodivá plocha. KV se v této vrstvě atmosféry odrážejí a lámou a dospívají tak do značných vzdáleností od vysílače. Podmínky šíření těchto vln se mění v různém období dne a noci.



Obr. 3.1.4 Spektrum elektromagnetického záření [19]

3.2 Sdělovací soustava

K přenosu signálů slouží sdělovací soustava, její jednotlivé prvky si dále popíšeme.

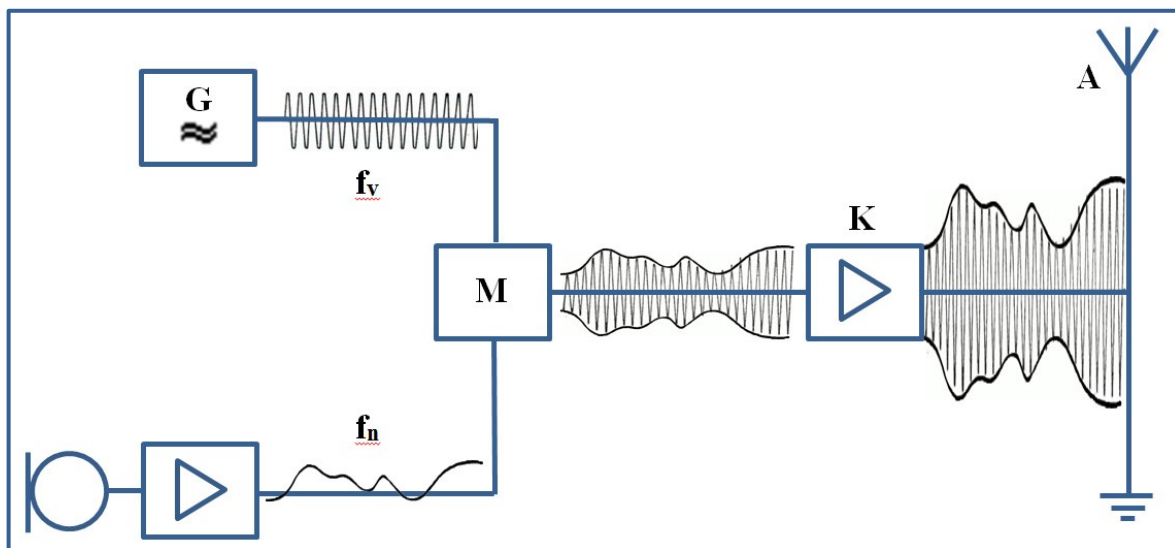


Obr. 3.2.1 Sdělovací soustava

- Z – zdroj zprávy, tvoří první část sdělovací soustavy.
- M – v případě, že má zpráva podobu mluveného slova (akustického signálu), je obvykle součástí sdělovací soustavy mikrofón, který mění mechanické kmitání na elektrické (možný přenos na velkou vzdálenost).
- K – koncový stupeň zesilovače má za úkol zesílení vysokofrekvenčního modulovaného signálu, tak aby zajistil potřebný vyzařovací výkon antény.
- SV – na sdělovacím vedení, může probíhat přenos v pomoci kabelu, vodičů telefonní sítě nebo bezdrátově volným prostorem pomocí elektromagnetického vlnění.
- V – vysílač je specializované zařízení vysílající signál, určený k přenosu informace.
- P – přijímač mění přijímaný signál pomocí antén na zvukové vlny a umožňuje tak vnímat vysílání z komunikačních, navigačních či sledovacích zařízení.
- D – demodulátor, sloužící k demodulaci modulovaného signálu, mění původní zprávu zpět na elektrický signál a předává tuto informaci danému zařízení.
- R – reproduktor je elektroakustický měnič, přeměňující elektrický signál na zvukové vlnění.

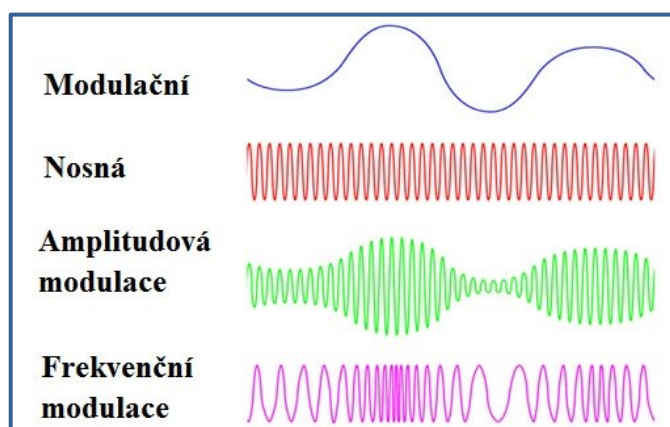
3.2.1 Vysílač

Obecné funkční schéma vysílače je na obr. 3.2.2 Signál může být z vysílače vyslán v různých formách elektromagnetických vln nebo sledu elektrických impulsů. Vyzářený výkon vysílače se liší podle účelu vysílání.



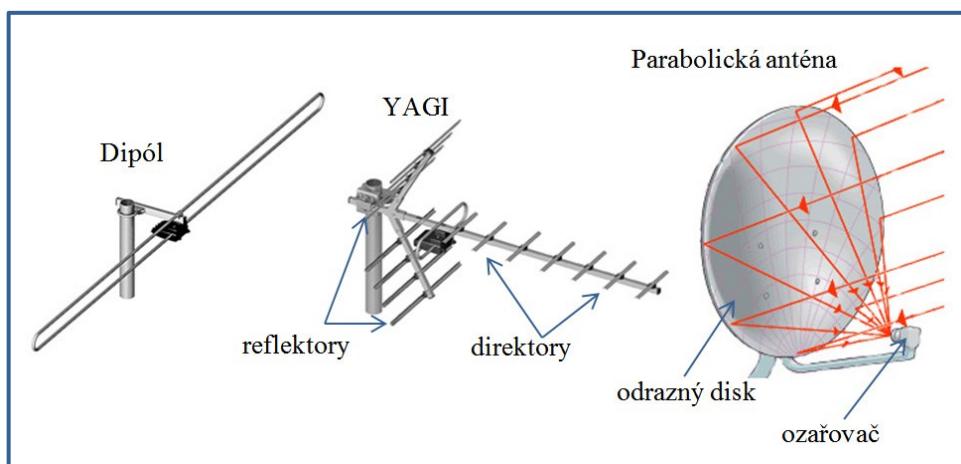
Obr. 3.2.2 Obecné schéma vysílače

- G – oscilátor, jenž je zdrojem elektromagnetických kmitů o vysoké frekvenci f_v , která je nosnou frekvencí vysílače. Změnou frekvence připojeného napětí se amplituda elektrických kmitů mění a největší hodnoty dosáhne, když je frekvence nuceného kmitání rovna vlastní frekvenci oscilátoru a nastává rezonance elektromagnetického oscilátoru. [16]
- M – modulátor, ve kterém se uskutečňuje modulace vysokofrekvenčního kmitání z oscilátoru vysílače s akustickým signálem nízké frekvence (modulující signál f_n). Pro rozhlasové účely se využívá buďto amplitudové modulace AM (DV, SV, KV) nebo frekvenční modulace FM (VKV).



Obr. 3.2.3 Frekvenční a amplitudová modulace [21]

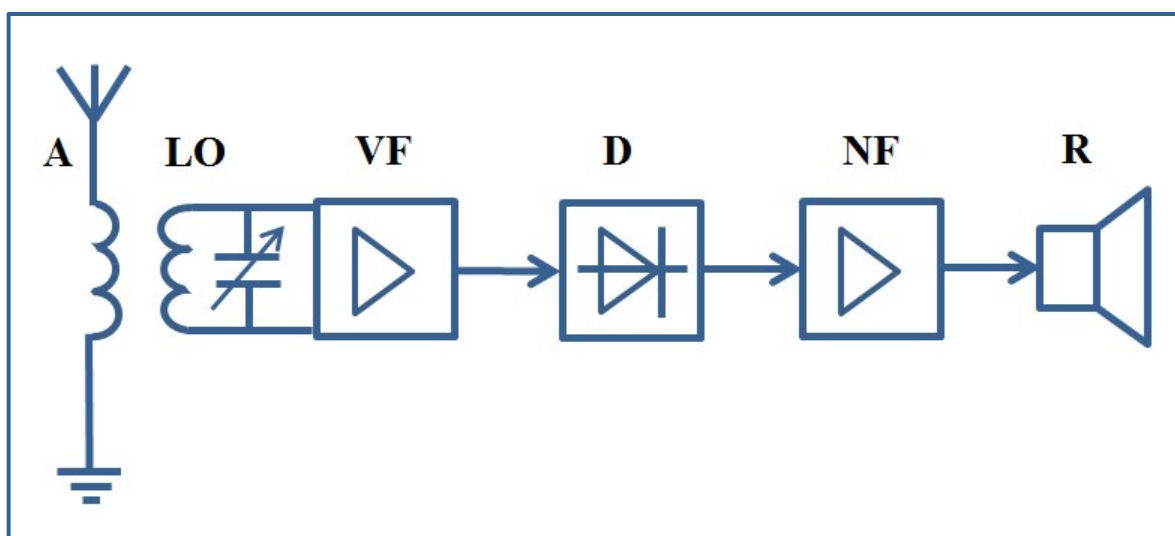
- K – koncový stupeň vysílače.
- A – vysílací anténa, jedná se o část vysokofrekvenčního vedení, které je upraveno takovým způsobem, aby účinně vyzařovalo energii do prostoru. V případě vysílače slouží k přeměně elektrické energie na energii elektromagnetických vln. Nejjednodušší anténou je elektromagnetický dipól, anténní dipól je často doplněn o další pasivní prvky zlepšující jeho vlastnosti, příkladem může být anténa typu YAGI (Yagi-Uda array) nebo parabolická anténa, která odráží přijímaný signál do svého ohniska.



Obr. 3.2.4 Ukázka některých typů antén

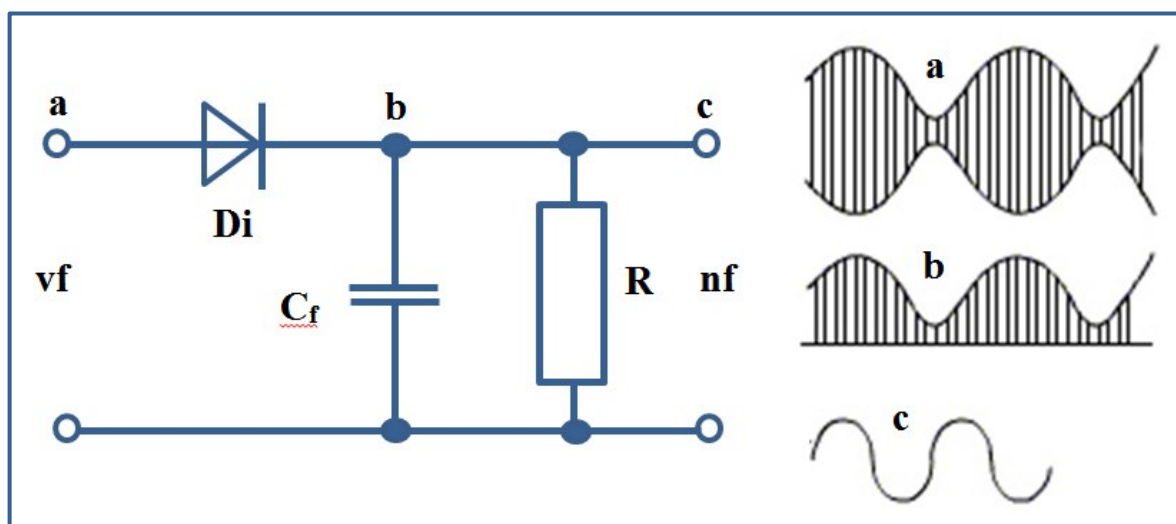
3.2.2 Příjímač

Na obr. 3.2.5 můžeme vidět funkční části rozhlasového přijímače, jejichž princip si dále popíšeme. Příjímač může mít různou konstrukci dle typu signálu, k jehož příjmu je určen.



Obr. 3.2.5 Obecné schéma rozhlasového přijímače

- A – přijímací anténa, dopadající elektromagnetická vlna z vysílače obsahuje proměnou magnetickou složku, která ve vodiči antény indukuje elektrické napětí a následně tak obvodem spojeným s anténou začne procházet elektrický proud.
- LO – anténa je vazbou spojena s laditelným oscilačním obvodem LO, kterým ladíme nosnou frekvenci vysílače a dojde tak k rezonančnímu zesílení přijatého signálu.
- VF – vysokofrekvenční zesilovač zesiluje přijatý signál, který dále postupuje do demodulátoru.



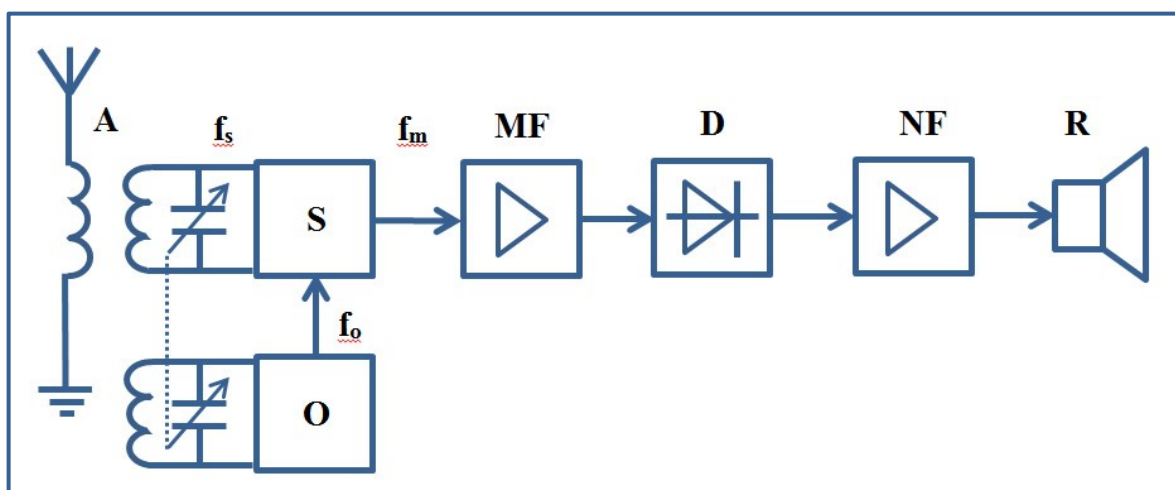
Obr. 3.2.6 Demodulace vysokofrekvenčního signálu (a – modulovaný signál, b – usměrněný signál, c – nízkofrekvenční signál)

- D – demodulátor (detektor) odděluje složku akustického modulačního signálu od vysokofrekvenční složky. K demodulaci se v přijímači využívá nelineární součástky (např. polovodičové diody D_i), která vysokofrekvenční signál vf jednocestně usměrní. Na rezistoru R dostaneme usměrněný vf signál b, který je vyhlazen filtračním kondenzátorem C_f . Kapacita kondenzátoru se volí tak, aby se odfiltrovala pouze vf složka signálu a netlumila se složka nízkofrekvenční nf. Rezistorem poté prochází jen proud s průběhem odpovídajícím akustickému signálu. [16]
- NF – koncový nízkofrekvenční zesilovač zesiluje akustický signál, který je dále přiváděn do zařízení ke zpracování (v případě rozhlasového přijímače do reproduktoru R).

3.2.3 Superheterodynní přijímač

Zkráceně „*superhet*“ je rádiový přijímač, který stanice s vyladěnou frekvencí nezesiluje na přijímané frekvenci jako přímo zesilující přijímač, ale jakoukoli naladěnou frekvenci převádí na stále stejnou mezifrekvenci, se kterou poté dále pracuje. Jeho výhodou je, že celý zesilovací řetězec má přesně definované vlastnosti bez ohledu na přijímanou frekvenci, šířku pásma a průběh propustné charakteristiky.

Mezifrekvence se dosahuje průběžným laděním vstupních obvodů přijímače s místním oscilátorem tak, aby po zpracování ve směšovači byl jejich rozdíl nebo součet stálý. Rozhlasové superheterodyny pro dlouhé až krátké vlny používají mezifrekvence 455 kHz, pro velmi krátké vlny 10,7 MHz. Ke zlepšení vlastností superheterodynu se využívá vícenásobného směšování za sebou s rozdílnými mezifrekvencemi. Schéma superheterodynu je na obr. 3.2.7.



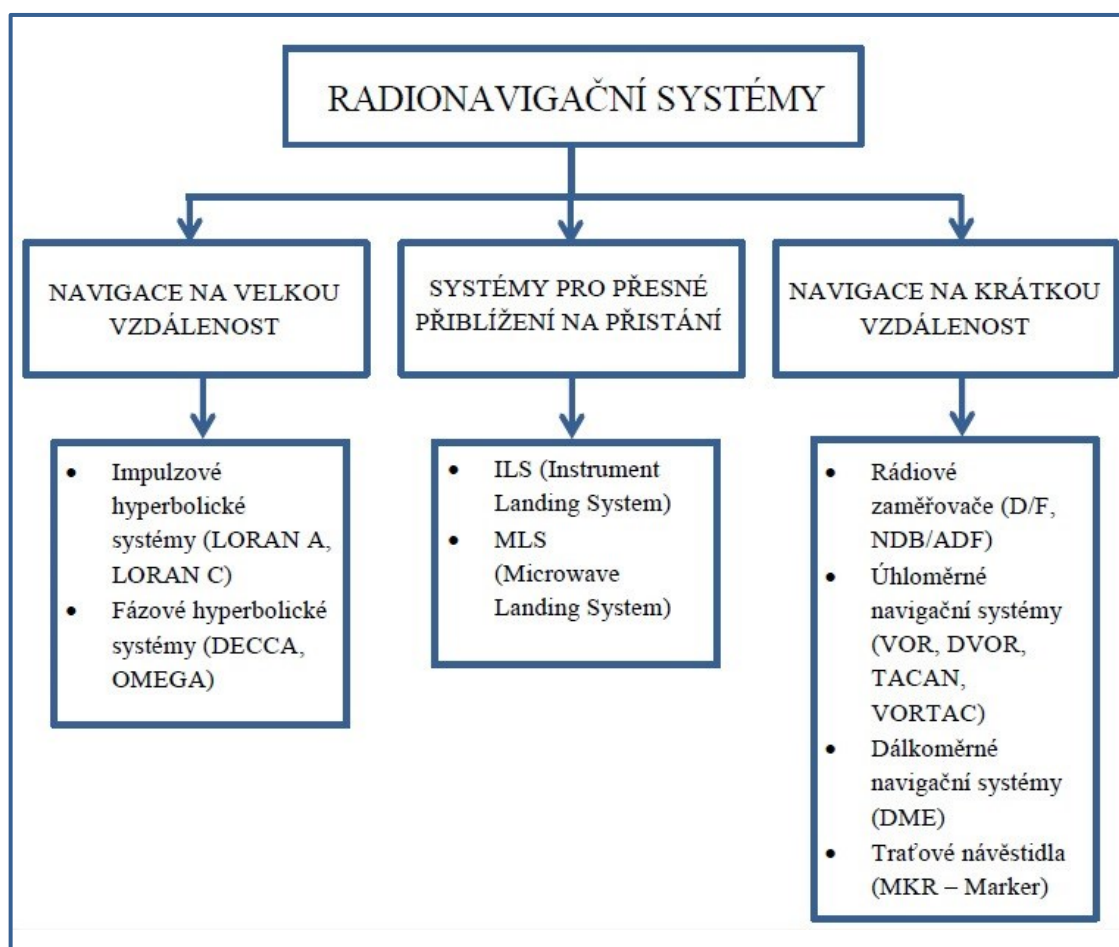
Obr. 3.2.7 Zjednodušené schéma superheterodynového přijímače

- S – směšovací stupeň.
- O – zvláštní oscilátor měnitelné frekvence.
- MF – mezifrekvenční zesilovač.
- D – demodulátor.
- NF – nízkofrekvenční zesilovač.
- R – reproduktor.
- f_s – frekvence signálu.
- f_m – mezifrekvence.
- f_o – frekvence oscilátoru.

4. Radionavigační prostředky

4.1 Rozdělení radionavigačních prostředků

Masový rozvoj radionavigačních prostředků se datuje do období po první světové válce, kdy se v USA začala rozvíjet letecká pošta a objevila se potřeba dálkových letů ve dne i v noci. Jedním z prvních pozemních navigačních prostředků byly světelné majáky, kterými bylo v USA vytyčeno přes 14 000 NM letových cest. Viditelnost těchto majáků byla ale značně omezena povětrnostními vlivy a tak se s rozvojem poznání rádiových vln začala odvíjet nová kapitola v letecké navigaci, radionavigace. [5]



Obr. 4.1.1 Schéma rozdělení radionavigačních prostředků

4.2 Nesměrový radiomaják NDB

4.2.1 Představení systému

Pozemní majáky slouží k zaměření rádiovým kompasem. Nazývají se nesměrové radiomajáky NDB (Non Directional Beacon). Letadlo vybavené palubním radiokompasem může poté letět k nebo od majáku po jakékoliv trati, provádět přístrojová přiblížení k letišti na majáky NDB, získávat zaměření od majáků nebo zaměřením dvou nebo více majáků určit svou polohu. Na rozdíl od majáku VOR nevytváří žádné radiály.

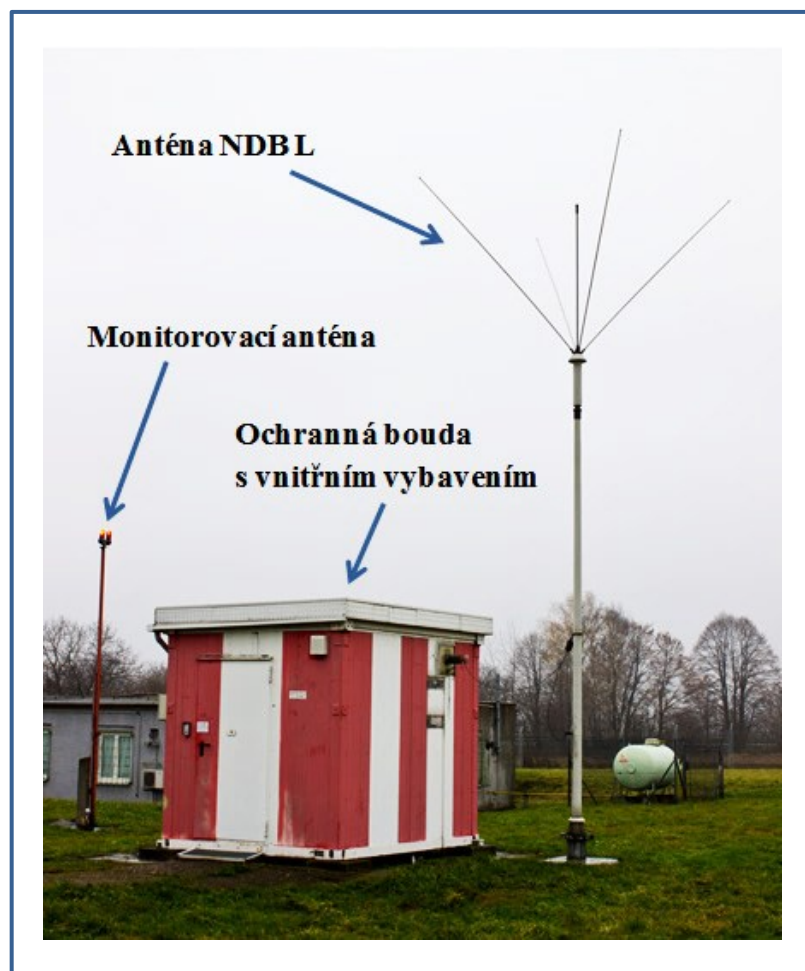
Zřizují se na letových cestách a v blízkosti velkých letišť. Vysílají nosnou vlnu s identifikačním signálem tvořeným dvěma až třemi písmeny Morseovy abecedy, které jsou vysílány nejméně jednou za 30 s. Jejich standardizace je zajištěna požadovanými parametry v předpisu L 10 o civilní letecké telekomunikační službě. Každý NDB musí být vybaven kontrolním zařízením, které umožní zjistit pokles požadovaného výkonu, přerušení vysílání identifikačního signálu a nesprávnou činnost nebo poruchu zařízení.

NDB se umísťují jako traťové a jako letištní zařízení. Letištní NDB se umísťují na prodlouženou osu RWY samostatně nebo jako dvojice NDB v různých vzdálenostech. Nejčastěji se umísťují na 1. km a 7. km před prahem RWY. Zařízení NDB využívané jako prostředek pro konečné přiblížení (umístění na 1. km) je označováno jako lokátor se zkratkou L. Přiblížení na NDB patří mezi nepřesná přístrojová přiblížení, pilot nemá možnost získat informaci o sestupové rovině. Indikace vzdálenosti od prahu RWY je dána jen v okamžiku přeletu zařízení, výhodnější je však využití v kombinaci s dálkoměrným systémem DME, který poskytuje kontinuální informaci o vzdálenosti (přiblížení NDB/DME).

4.2.2 Pozemní vybavení

Z technického hlediska je nesměrový radiomaják realizovaný jako speciálně konstruovaný vysílač s výkonem v řádu desítek až stovek wattů. Nejvíce využívanými anténními systémy jsou anténa typu T nebo L.

Dosah v ČR se pohybuje v rozmezí 100 až 150 km. Vysílání je polarizováno vertikálně. Ke správné činnosti majáku NDB je nutná podmínka čistě vyzařovaného všesměrového diagramu. Pokud tato podmínka není splněna, je zaměření od radiokompasu nesprávné, protože relativní kurz 0° je daný kolmicí na příslušnou ekvipotenciální plochu (siločáry elektrického pole jsou vždy kolmé). [1]



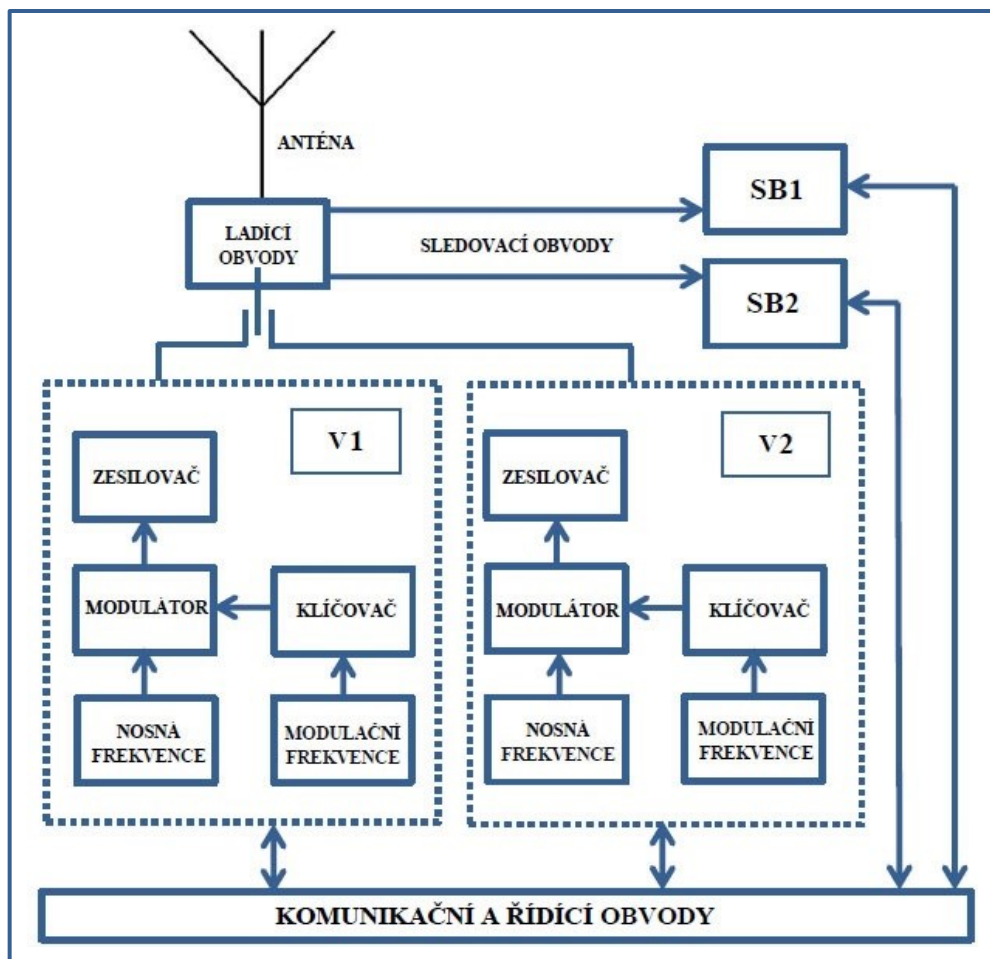
Obr. 4.2.1 Nesměrový radiomaják NDB RADA 534 kHz (Ostrava LKMT, vlastní fotografie)

4.2.3 Princip funkce

Jednotlivé části ze schématu nesměrového radiomajáku, které je znázorněno na obr. 4.2.2 si dále popíšeme.

NDB vysílač se skládá z důvodu zaručení vyšší spolehlivosti ze dvou identických bloků vysílačů V1 a V2. Výstupem každého bloku je vysokofrekvenční modulovaný signál. Zvolení daného vysílače, který bude připojen k anténě, zajišťuje anténní relé na základě požadavku řídicích obvodů. Radiomaják je v podstatě dlouhovlnný vysílač, kde změna impedance antény vlivem počasí nebo okolním terénem značně ovlivňuje vyzařovaný výkon. Postup vysokofrekvenčního signálu k anténě je tak sledován automatickými prvky doladování.

Sledované parametry jako jsou výstupní proud do antény, napětí a fáze mezi proudem a napětím jsou pomocí vazebních členů vedeny ke dvěma nezávislým sledovacím blokům SB1 a SB2. Sledovače vyhodnocují provozní parametry a v případě zvýšených odchylek vyvolají akci k přepnutí zařízení na druhou soupravu, případně i vypnutí celého zařízení. Důležitou součástí dlouhovlnné antény je i kvalitní anténní protiváha, která je tvořena uzemňovacím kovovým vedením, které je uloženo v zemi pod vlastním stožárem.



Obr. 4.2.2 Schéma nesměrového radiomajáku

Součástí zařízení je i náhradní zdroj elektrické energie (UPS - Uninterruptible Power Source), zapojený paralelně k výstupu AC/DC zdroje. Paralelní zapojení zajistí v případě přítomnosti AC (Alternating current, česky střídavý proud) síť udržování plné kapacity baterií a v případě výpadku AC sítě přechod na napájení z baterií všech navazujících DC/DC (Direct current, česky stejnosměrný proud) zdrojů systému, bez toho aniž by došlo k výpadku systému. Doba takového provozu závisí na instalované kapacitě náhradního zdroje, která bývá volena tak, aby zajistila dodávku energie na několik hodin.

4.2.4 Typy NDB

Dle výkonu jsou NDB zařazeny do 4 skupin:

- HH – nesměrový radiomaják s výkonem 2000 W nebo více
- H – nesměrový radiomaják s výkonem od 50 do 2000 W
- MH – nesměrový radiomaják s výkonem menším než 50 W
- L – lokátor, maják s přibližným výkonem 25 W, pro přístrojové přiblížení na letišti [3]

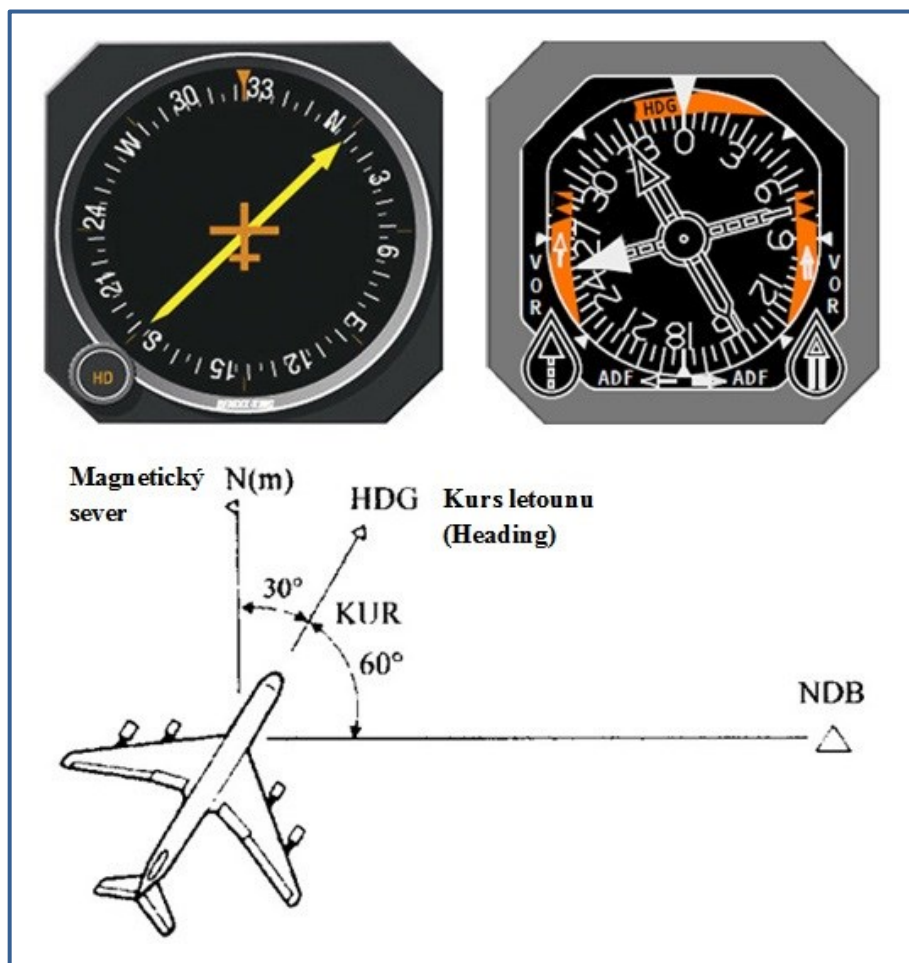
4.2.5 Parametry systému

- Pracují v kmitočtovém pásmu s frekvencí v rozsahu 200 kHz až 525 kHz z použitelných kmitočtů 190 kHz až 1750 kHz.
- Vysílají stálou nosnou vlnu s modulací 1020 Hz k poskytnutí identifikace letadla v Morseově kódu ke kontrole naladění správného majáku.
- Vyzařovací diagram je kruhový, což podává krytí v kterémkoli bodě v dosahu zařízení, který je omezen do vzdálenosti 160 až 320 km, ve speciálních případech mohou mít některé vysoce výkonné radiomajáky dosah až 1600 km. [3]
- Minimální intenzita elektrického pole na hranici krytí je $70 \mu\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$, modulační kmitočet je v řádu $1020 \text{ Hz} \pm 50 \text{ Hz}$ nebo $400 \text{ Hz} \pm 25 \text{ Hz}$, hloubka modulace 95 %.
- Druhem provozu je klíčovaná nosná (A1) nebo modulovaná nosná (A2).
- Přesnost navigace NDB je udávána okolo 5° až 7° . Ve vzdálenosti 50 km od majáku je přesnost zaměření 4 až 6 km. V noci, kdy může být vyzařovací diagram ovlivněn interferencí s dálkovým příjmem, se ovšem udává možná chyba až 25 stupňů (tzv. „noční chyba” NDB). [2]

4.2.6 Palubní vybavení

ADF (Automatic direction finder), česky ARK (Auto matický radiokompas) je přijímač, který získává signál z pevné a otočné rámové antény. Součtem signálu z těchto dvou antén vzniká přijímací charakteristika ve tvaru kardioidy (srdcovky), která je význačná tím, že má jedno ostré minimum. Natočením rámové antény na toto minimum lze určit směr na radiomaják NDB. Otočná rámová anténa se nahrazuje v novějších zařízeních dvěma pevnými zkříženými rámovými anténami umístěnými ve společném pouzdře, které jsou připojeny na tzv. goniometr. Natáčení cívky goniometru je ekvivalentní otáčení pohyblivé rámové antény. Natočení cívkou goniometru se přenáší na ručkový

indikátor, kterým může být například ARK nebo RMI (Radio magnetic indicator). ARK je označen tak, že ukazuje úhel natočení antény vzhledem k podélné ose letadla KUR (Kurový úhel radiostanice). [2]



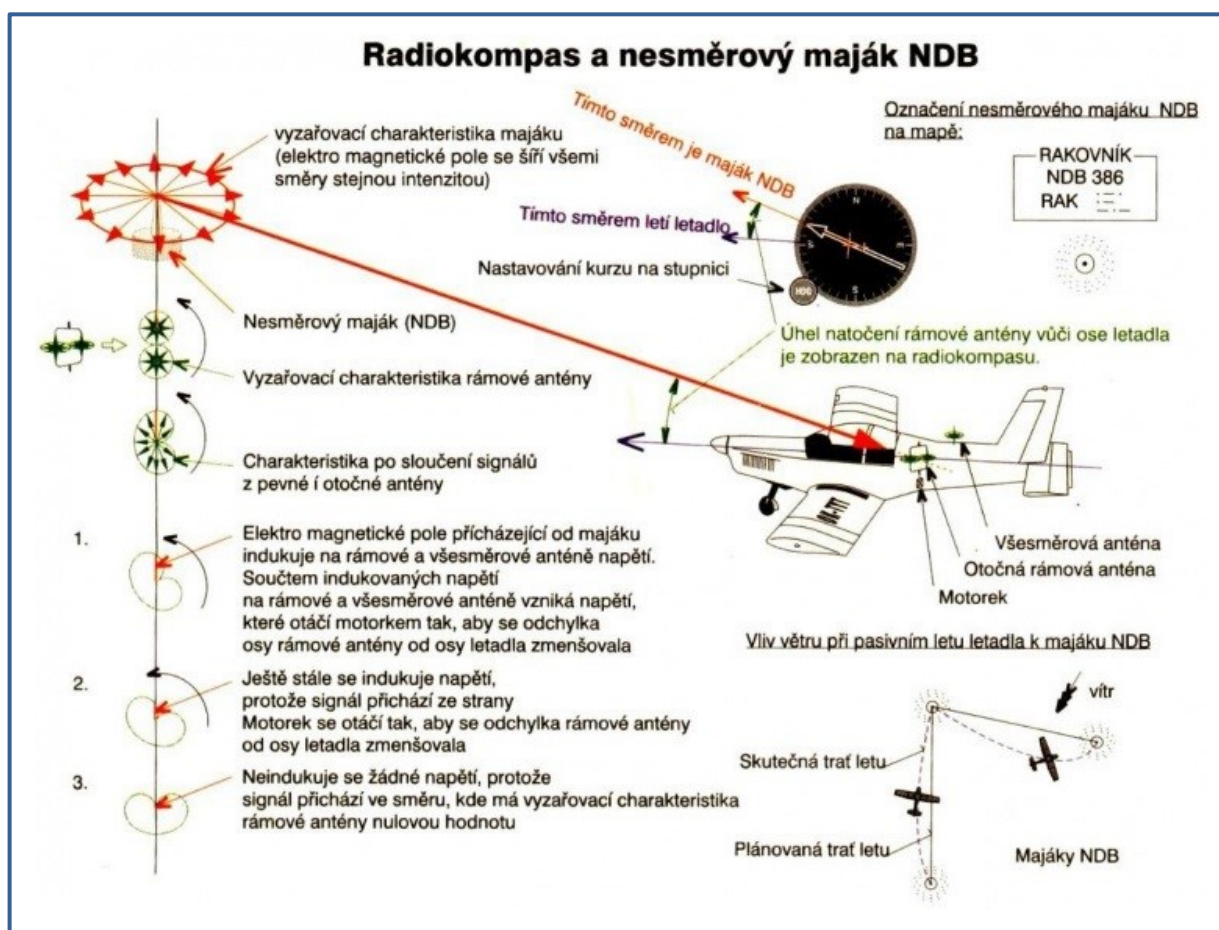
Obr. 4.2.3 Palubní vybavení ADF (vlevo) a RMI (vpravo), kurový úhel radiostanice [4], [36]

ARK je realizován jako radiokompas se speciálním indikátorem s otočnou, ručně nastavitelnou, kruhovou stupnicí. Je to v podstatě číselník s ručičkou, která ukazuje směr k naladěnému radiomajáku. V situaci, kdy není naladěn žádný maják v dosahu, stočí se ručička kolmo na osu letadla.

Indikátor RMI je napojen na magnetický kompas a umožňuje mimo jiné let k majáku s vyloučením snosu větru. Otáčivá růžice kompasu na přístroji RMI je dálkově řízená od magnetického kompasu a za situace, kdy se letadlo otáčí, otáčí se i stupnice kompasu a proti značce na horní straně přístroje (Lubber line) je udáván magnetický kurs, kterým letadlo letí. Při letu na maják pilot letí takovým kursem, kdy ručička RMI ukazuje přesně na tuto značku. Letadlo poté míří přímo na radiomaják NDB. [3]

4.2.7 Navigace s využitím NDB a ADF

Zjednodušený princip navigace pomocí automatického radiokompasu k majáku NDB je spolu s popisem na obr. 4.2.4.



Obr. 4.2.4 Radionavigace pomocí NDB [2]

4.2.8 Doslov

NDB můžeme využít za účelem letu po trati, pasivnímu přiletu k majáku bez kompenzace větru nebo aktivnímu přiletu k majáku s vyloučením větru, přístrojovému přiblížení a k určení polohy letounu zaměřením na jeden nebo dva radiomajáky. Důvodem ke zhoršení navigační přesnosti majáku může být například působení vnějších vlivů za bouřkové situace, způsobující odchýlení ručičky ARK k oblakům nebo tzv. „nočním efektem“, kdy odražená prostorová vlna od ionosféry interferuje díky posunu fáze s povrchovou vlnou v místě přijímače. Dalšími vlivy pak může být atmosférické rušení, interference mezi stanicemi s vysokým výkonem nebo útlumem vlny a následnému odchýlení od správné polohy při letu v horských a pobřežních oblastech.

Rádiové zaměřovače patří k nejstarším rádiovým zařízením používaným v letectví a dodnes se objevují na palubách letadel (ADF) i jako služba řízení na zemi. NDB jsou kromě jejich použití v letecké navigaci také oblíbené u radioamatérů, kteří si vychutnávají za příhodných podmínek poslech signálů ze vzdálených stanic, kdy se uplatňují prostorové vlny.

4.3 Vysokofrekvenční všesměrový radiomaják VOR

4.3.1 Představení systému

Vysokofrekvenční všesměrový radiomaják VOR (VHF Omni-directional radio range) je pozemní radionavigační zařízení na krátké vzdálenosti. Vyzařuje směrové signály do zhruba 90 km v malých výškách a až 300 km ve velkých výškách od zařízení. Odstraňuje některé z chyb, se kterými se setkáváme při využívání NDB. Oproti středovlnným a dlouhovlnným radionavigačním prostředkům není VOR rušen statickými poruchami a interferencí. Zařízení VOR vysílají teoreticky nekonečný počet směrů ve všech směrech vůči majáku, tyto směry se nazývají radiály a v praxi se jich používá 360. Radiály udávají magnetický směr od stanice a palubní zařízení vyhodnocuje tuto informaci jako azimut polohy letadla vůči majáku VOR.

Zařízení VOR se umísťují buďto tak, že určují hlavní letecké trasy, kde slouží pro navigaci nebo jsou umístěny přímo na letištích, v tom případě slouží pro nepřesné přiblížení na hlavní ranvej (přiblížení VOR/DME). Dálkoměrné zařízení DME, které určuje šikmou vzdálenost letadla vůči majáku, je pak součástí radiomajáku VOR.

4.3.2 Pozemní vybavení

Zařízení VOR lze charakterizovat jako prefabrikovaný plechový domek osazený na předem připravenou betonovou plošinu s provedením slaboproudých a silnoproudých přípojek. Na střeše domku je umístěn anténní systém. V případě nedostatečně rovného terénu v místě instalace zařízení je nutné vybavení umělou protiváhou, ve formě sítě z vodivého materiálu, ke správnému chodu zařízení. [22]



*Obr. 4.3.1 Všesměrový radiomaják VOR/DME OTA 117,45 MHz
(Ostrava LKMT, vlastní fotografie)*

Anténní systém majáku je tvořený třemi anténami. První z nich je všesměrová anténa, jejíž tvar směrové charakteristiky je kruhový. Vysílá referenční signál, který je k dispozici v celém prostoru využití majáku a je vysílán tak, aby jeho fáze nebyla závislá na poloze. Tento signál přináší do systému VOR základní informaci o počátku měření fáze.

Dalšími anténami jsou dvě dvojice dipólů vysílající proměnný signál, jejichž výsledná směrová charakteristika v horizontální rovině má tvar osmičky. Rotující charakteristika je realizována s využitím dvou na sebe kolmých dipólů, které jsou napájeny postranními pásmy. Pásmo A je v obálce ovlivněno funkcí \sin , a pásmo B funkcí \cos . K simulaci rotujícího dipólu dojde díky přecházení energií společně se změnou polarity signálů v každé půlvině.

4.3.3 Jednotlivé typy VOR

Jednotlivé druhy majáků VOR jsou známy pod těmito zkratkami:

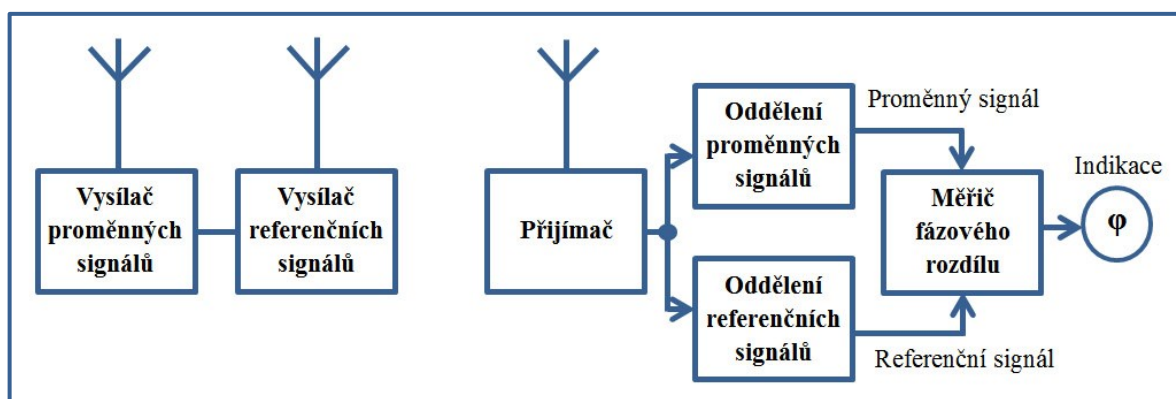
- CVOR – Conventional VOR, plní funkci klasického radiomajáku VOR.
- TVOR – Terminal VOR, maják využívaný na velkých letištích pro přiblížení na přistání, výkon vysílače je nižší než u CVOR.
- DVOR – Doppler VOR, radiomaják pracující s využitím Dopplerova jevu. Má vyšší dosah a je odolnější proti rušení.
- BVOR – Broadcast VOR, radiomaják, který vysílá v mezerách mezi signály meteorologické informace letadlům a informace o letišti.
- VORTAC – kombinace pozemního civilního zařízení VOR spolu s vojenským zařízením TACAN (Tactical air navigation) v jednom místě.

4.3.4 Princip funkce

Maják VOR vysílá nosnou vlnu se stálou amplitudou anténním systémem, jehož směrová charakteristika horizontální rovině má tvar srdcovky. Směrová charakteristika se v této rovině otáčí konstantní úhlovou rychlostí ω . V libovolném pevném bodu pak přijímáme amplitudově modulovanou vlnu, namísto nosné vlny se stálou amplitudou. Pokud bychom tak sledovali dva amplitudově modulované signály ve dvou různých bodech ze stejné vzdálenosti od majáku, časové průběhy jejich signálů by pak byly stejné kromě fázového posunu jejich modulačních obálek. Posun fáze pak závisí na rozdílu směrniců těchto bodů. Pokud bychom měřili posun fáze mezi modulační obálkou proměnného signálu v daném bodě a modulační obálkou referenčního signálu zjistíme, že odpovídá magnetickému směrníku letadla vzhledem k majáku. [1]

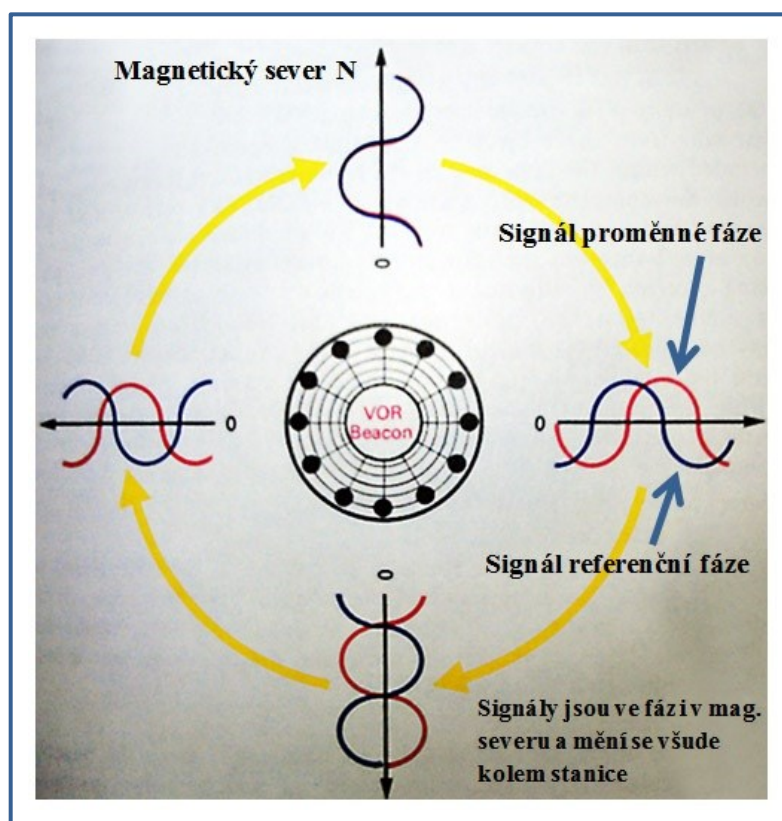
U konvenčního radiomajáku VOR (CVOR) je principem vysílání referenčního a proměnného signálů o frekvencích 30 Hz. Hodnotu radiálu poté určuje fázový posun mezi těmito dvěma signály.

Referenční signál se vysílá všesměrově jako nosný kmitočet s amplitudovou modulací 9960 Hz, s hloubkou modulace 30%. Nosný kmitočet je z důvodu oddělení v rámci kanálu modulován frekvenčně (s frekvenčním zdvihem 480 Hz). Amplitudovou a frekvenční detekcí na palubním přijímači je výsledkem navigační tón 30 Hz. Jeho fáze je nezávislá na poloze letadla vůči anténě radiomajáku.



Obr. 4.3.2 Schéma funkce vysílače a přijímače VOR

Proměnný (variační) signál vysílaný jako amplitudově modulovaný na nosnou vlnu ve vyzařovacím diagramu tvaru osmičky, s rychlostí 30 otáček za s, spolu s referenčním nesměrovým signálem vytváří výslednou vyzařovací charakteristiku radiomajáku, srdcovku. Na obr. 4.3.3 je znázorněn fázový posun mezi těmito signály. [22]



Obr. 4.3.3 Fázový rozdíl mezi signály VOR [24]

4.3.5 Parametry systému

- Frekvenční rozsah 108 MHz – 111,975 MHz v pásmu jmenovitých frekvencí, které mají na místě desetín MHz sudou číslici (národní VOR). Od 112 – 117,975 pracuje VOR na všech kanálech s rozestupem 50 Hz.
- Polarizace vysílaných vln je horizontální, přesnost systému je 4,5° až 5°.
- Minimální intenzita elektrického pole na hranici krytí je $90 \mu\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$, jmenovité krytí je 150 až 200 km, ve vertikální rovině musí být dostatečné do elevačního úhlu 40°.
- Referenční signál: $30 \text{ Hz} \pm 1\%$, činitel kmitočtového zdvihu 16 ± 1 .
- Proměnný signál: $30 \text{ Hz} \pm 1\%$, hloubka modulace $30\% \pm 2\%$.
- Pomocný nosný kmitočet: $9960 \text{ Hz} \pm 1\%$, hloubka modulace $30\% \pm 2\%$.
- Dvou až tři písmenný identifikační signál Morseovy abecedy na frekvenci $1020 \text{ Hz} \pm 50 \text{ Hz}$, hloubka modulace 10%, všesměrové vysílání.
- Možnost vysílání informací pro letadla ATIS (Automatic terminal information service) v pásmu 3000 Hz s hloubkou modulace do 30%.

4.3.6 Palubní vybavení

Palubní zařízení VOR je obvykle složeno z několika částí. Zahrnuje dálkové ovládání s vypínačem, voličem frekvencí a hlasitostí. Jedním z možných typů ukazatelů odchylky od zadaného radiálu je indikátor traťové odchylky CDI (Course deviation indicator). Jehož jednu část zaujímá volič radiálů OBS (Omni bearing selector). Další částí je ukazatel odchylky od zadaného radiálu, jehož břevo ukazuje, zda se letadlo nachází na zadaném radiálu nebo se od něho odklání vlevo či vpravo. Důležitým ukazatelem je také indikace „K“ (TO) a „OD“ (FROM) udávající, zda se letící letadlo kursem blíží k radiomajáku nebo se od něj vzdaluje a indikace závady NAV (nespolehlivý signál). Podobným typem přístroje je indikátor situace v horizontální rovině HSI (Horizontal situation indicator), který je společný jak pro systém ILS tak VOR s tím rozdílem, že při letu na VOR indikuje pouze svislé břevo a horizontální břevo je nefunkční. U většiny letadel je také signál VOR přiváděn na ukazatel RMI, který je společný i pro všesměrový radiomaják NDB. Na obr. 4.3.4 jsou vyobrazeny jednotlivé typy přístrojů. [3]



Obr. 4.3.4 Radiomagnetický ukazatel RMI (vlevo), indikátor traťové odchylky CDI (vpravo) a indikátor situace v horizontální rovině HSI (dole) [25], [36], [26]

4.3.7 Dopplerovský všesměrový radiomaják DVOR

Předpokladem pro správnou funkci systému konvenčního radiomajáku VOR je přímočaré šíření rádiových vln stálou rychlostí. Vlivem zkreslení signálu a odrazům v členitém terénu díky blízko umístěným předmětům v okolí majáku, dochází k ovlivnění směrové charakteristiky anténního systému majáku a nepřesnostem v určení směru. Palubní zařízení tak poté může indikovat směrník s chybou větší, než je předpokládáno leteckými předpisy. [1]

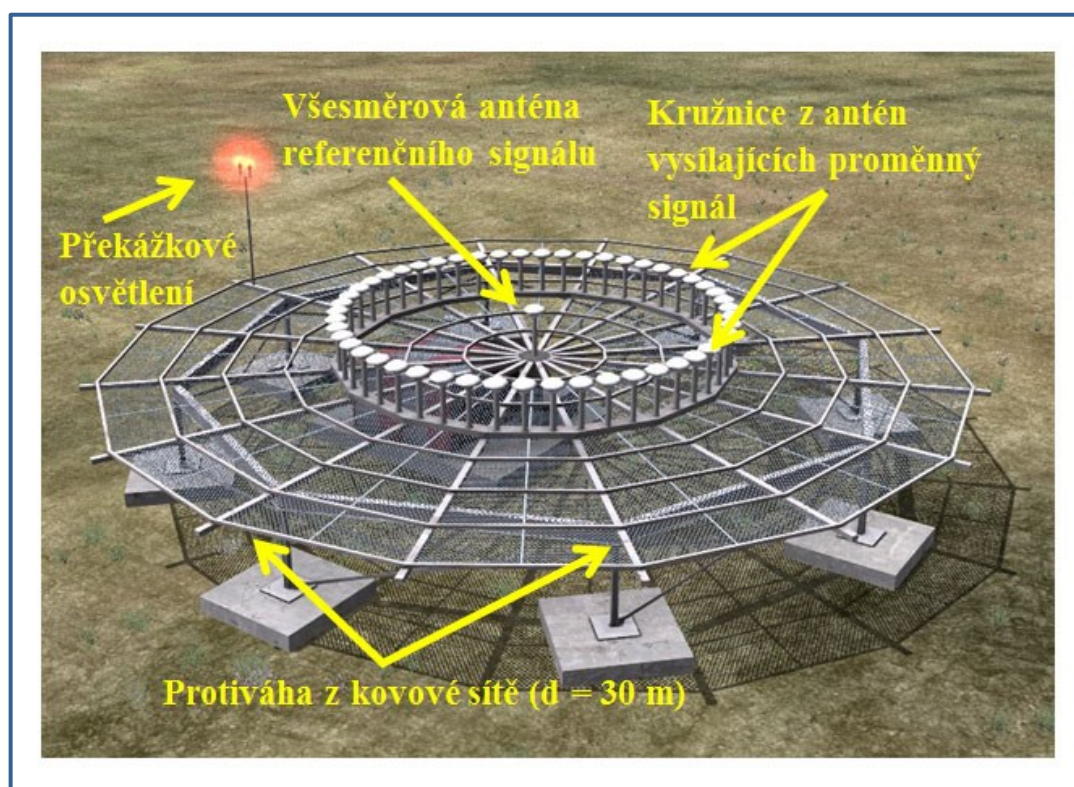
Radiomaják DVOR využívá Dopplerova jevu, jehož principem je změna frekvence vlnění mezi pozorovatelem a pohybujícím se zdrojem vlnění. Přesnost majáku je přibližně třikrát lepší než u konvenčního systému VOR. Zlepšení přesnosti majáku je dosaženo použitím jiné struktury antény s rotující směrovou charakteristikou.

Tato anténa vyzařující proměnný signál, je u tohoto majáku tvořena soustavou přibližně padesáti elektronicky přepínaných všesměrových antén umístěných do kružnice.

Proměnný signálem je na rozdíl od konvenčního systému VOR frekvenčně modulovaný signál 30 Hz. Frekvenční modulace na pomocný nosný kmitočet 9960 Hz je dosaženo využitím Dopplerova jevu. Pozorovatel tak, díky po kružnici rotujícímu zářiči, přijímá signál s frekvenčním zdvihem 480 Hz sinusového průběhu.

Polohou pozorovatele je dán i fázový posuv vzhledem k referenčnímu signálu. Referenčním signálem je naopak u DVOR amplitudově modulovaný signál 30Hz. Referenční signál vyzařuje všesměrová anténa spolu s identifikačním signálem 1020 Hz, která je umístěna uprostřed kružnice.

Smysl modulací signálů je oproti konvenčnímu VOR zaměněn. Přijímač VOR by tak indikoval zápornou odchylku fáze o 180° . Korekcí tohoto efektu je posunutí fáze amplitudově modulovaného signálu hlavní nosné vlny o 180° . Princip příjmu dvou sinusových signálů posunutých ve fázi na základě polohy pozorovatele je tak zachován a je pro letadlo nerozeznatelný od konvenčního přijímače VOR.

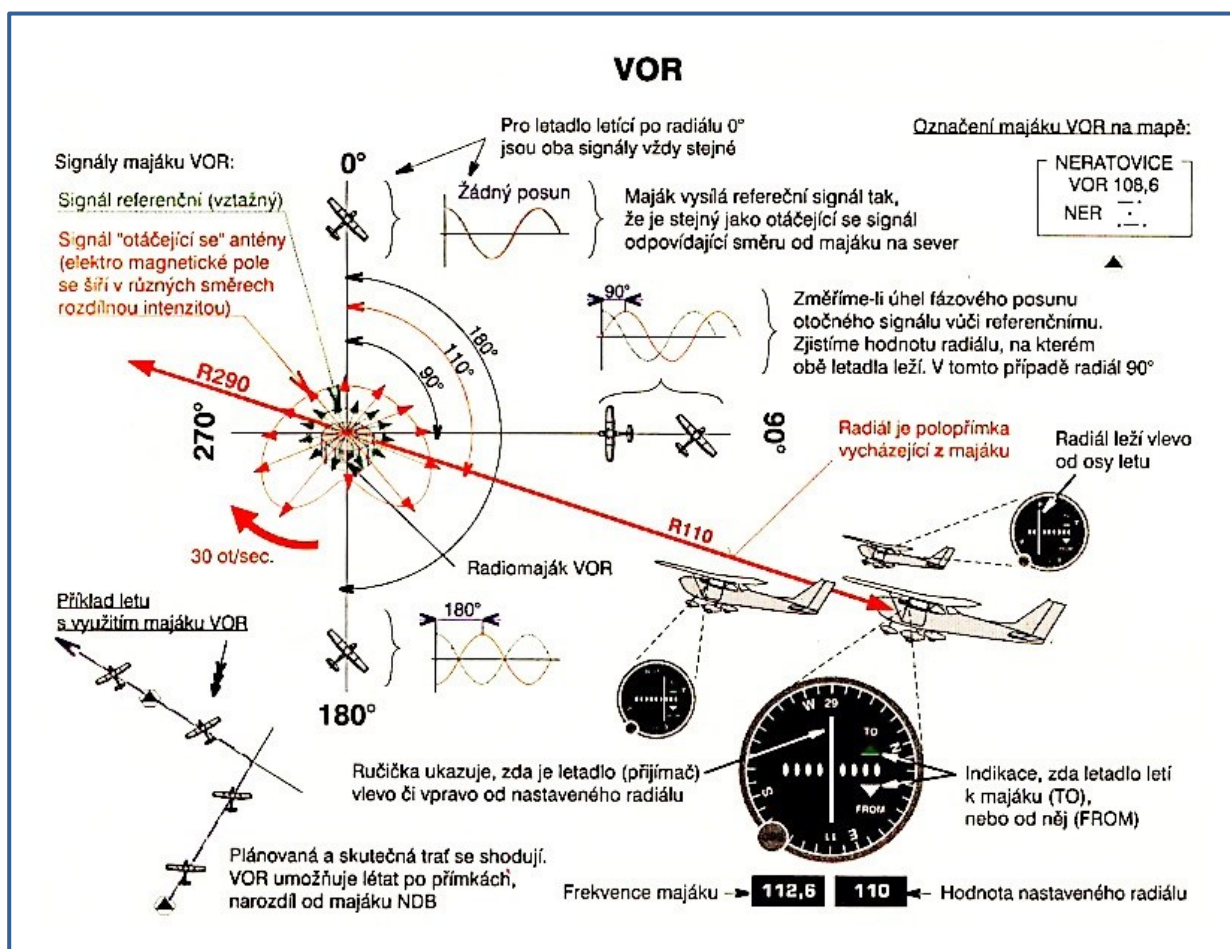


Obr. 4.3.5 Navigační radiomaják DVOR [26]

Dosah radiomajáku VOR je přibližně 300 km. Sledování signálu je uskutečňováno pomocí dipólu ve vzdálenosti kolem 200 m. Může být také dodatečně vybaven anténou měřiče vzdálenosti DME.

4.3.8 Navigace s využitím VOR

Zjednodušený princip navigace s využitím všesměrového majáku VOR je spolu s popisem na obr. 4.3.6.



Obr. 4.3.6 Radionavigace pomocí VOR/CDI [23]

4.3.9 Doslov

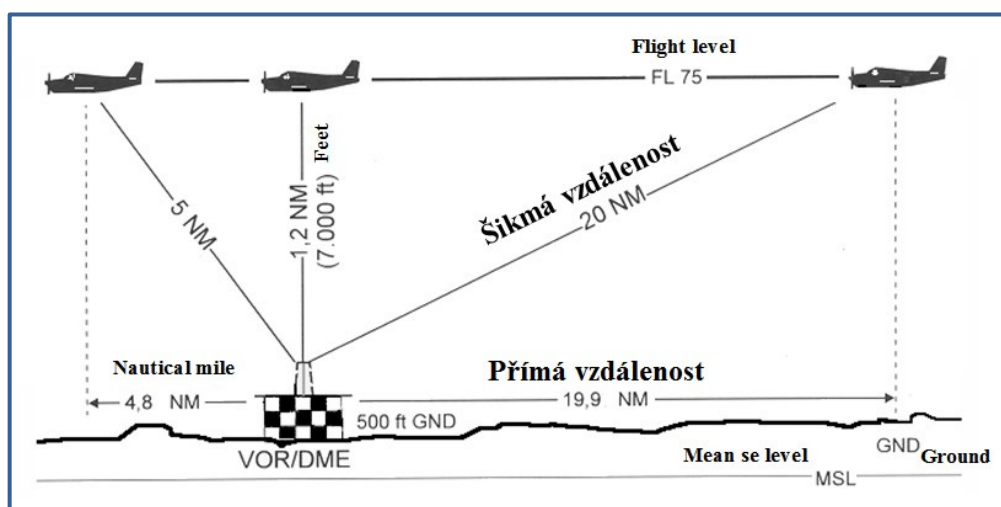
Standardizace radiomajáků VOR je zajištěna požadovanými parametry v předpisu L 10 o civilní letecké telekomunikační službě. Některá zařízení mohou navíc vysílat kromě radiálu také hlasové informace ATIS nebo VOLMET (Meteorological information for aircraft in flight). Letadla vybavená palubním zařízením VOR mohou letět k nebo od majáku po zadaném radiálu a získávat zaměření od radiomajáku. Pomocí 2 nebo více radiomajáků VOR také mohou určovat svou polohu nebo provádět přístrojové přiblížení na přistání na maják VOR.

4.4 Zařízení pro měření vzdálenosti DME

4.4.1 Představení systému

Kromě určení směrníku letadla vzhledem k danému bodu, tedy polopřímky, na kterém se dané letadlo nachází je ještě k jednoznačnému určení polohy letadla potřeba určit také vzdálenost od daného bodu. K tomuto účelu je využíváno systému dálkoměrného měřicího zařízení DME (Distance measuring equipment). [1]

Systém DME je složen ze dvou částí. První částí je pozemní zařízení tvořené odpovídačem (transponder) a druhou částí je palubní dotazovač (interrogator). Principiálně je systém podobný činnosti sekundárního radaru SSR. Toto zařízení měří šikmou vzdálenost letadla od pozemního zařízení, kterým může být jak všesměrový radiomaják VOR, tak maják NDB. U radionavigačních sestupových zařízení informuje posádku letadla o vzdálenosti od prahu RWY. DME může pracovat i jako samostatná jednotka. V tomto případě je identifikováno kmitočtem VHF stejně, jako kdyby byl zabudován spolu s majákem VOR.

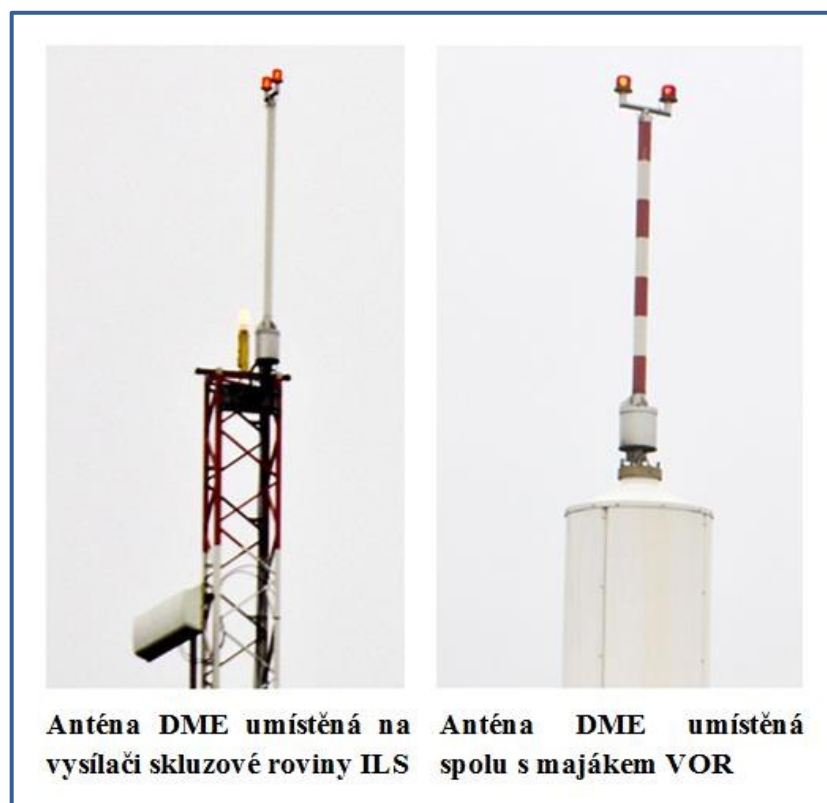


Obr. 4.4.1 Rozdíl mezi šikmou a vodorovnou vzdáleností [27]

4.4.2 Pozemní vybavení

Zařízení pracuje v pásmu ultra krátkých vln UHF a je schopno podávat informaci o vzdálenosti zároveň až jedné stovce letadel. V případě, že by se počet požadavků na dotaz vzdálenosti zvýšil nad přijatelnou mez, systém přestane nejvzdálenějším letadlům podávat hlášení o vzdálenosti. Z důvodu bezpečnosti je vybaveno dvěma odpovídači. Jeden z těchto odpovídačů slouží jako záloha v případě poruchy. DME využívá všesměrové dipólové

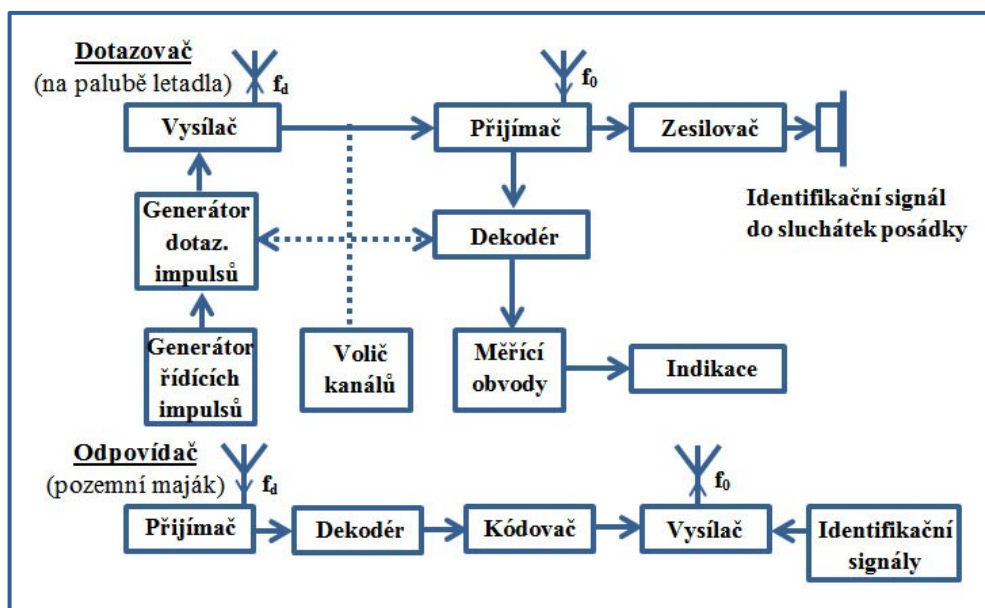
antény. V době výpadku napájení může použít buďto vlastních záložních baterií nebo v případě kdy je sdružen s jiným systémem, zástavbu společných baterií.



Obr. 4.4.2 Pozemní část systému DME (vlastní fotografie)

4.4.3 Princip funkce

Princip systému je založen na měření doby mezi časem odeslání dotazu a časem obdržení odpovědi při známé rychlosti šíření elektromagnetického vlnění.



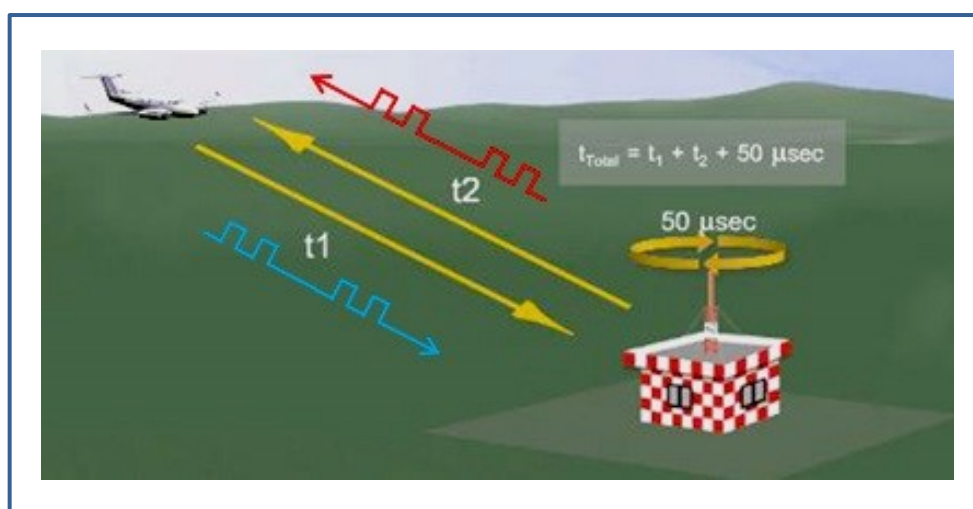
Obr. 4.4.3 Principiální schéma systému DME

Pokud tak známe rychlost šíření signálu mezi dotazovačem a odpovídačem tam a zpět a dobu, za kterou dojde k návratu signálu od jeho vyslání, je možno vypočíst, že celková vzdálenost letadla od vysílače se bude rovnat podle vzorce

$$D = \frac{c \cdot (t - t_z)}{2},$$

kde D je vzdálenost v metrech, t je celková doba mezi vysláním signálu a jeho příjmem, c je rychlost elektromagnetického vlnění $3 \cdot 10^8 \text{ (m} \cdot \text{s}^{-1})$ a t_z je záměrné opoždění signálu odpovídače.

Palubní dotazovač generuje řídicí impulsy s přesně definovaným intervalem mezi nimi. Tento signál poté moduluje nosný signál antény vysílače. Pokud frekvence signálu dotazovače f_d odpovídá frekvenci, na kterou je naladěný přijímač, dekodér odpovídače tento signál zpracuje a zjistí odpovídající hodnotu vzdálenosti časových impulsů. Pokud tato hodnota souhlasí s hodnotou, na kterou je odpovídač nastaven, vytvoří se v kódovači dvojice impulsů s definovaným intervalem. Signál poté moduluje nosnou frekvenci vysílače odpovídače f_o . Signál je dále zpracován dekodérem palubního dotazovače, a pokud souhlasí interval impulsů s hodnotou, na kterou je dekodér nastaven, vyhodnotí měřicí obvody z celkové doby mezi dotazem a odpovědí vzdálenost. Odpovídač má zadánu standardní hodnotu zpoždění vyslání signálu na $50 \text{ } \mu\text{s}$, tento časový posun napomáhá ke správnému měření vzdálenosti. [1]



Obr. 4.4.4 Celková doba cesty signálů DME [28]

4.4.4 Parametry systému

- Systém pracuje v pásmu 960 – 1215 MHz, rozestup mezi kanály jsou 1 MHz, vysílání je šířeno s vertikální polarizací.
- Vzdálenosti je možno měřit od 0 m do 370 km (200 NM), celková chyba by neměla přesáhnout ± 930 m (0,5 NM) nebo $\pm 3 \%$ z naměřené hodnoty podle toho, která hodnota je větší. Čím je vyšší výška letu, tím vyšší je i dosah. Dosah DME spolupracujícího se systémem ILS je přibližně 50 km (25 až 30 NM).
- Signál odpovídače je na své trase časově opožděn o 50 μ s, frekvence odpovědi je o 63 MHz vyšší nebo nižší než frekvence dotazu.
- Provozní kanály jsou označeny pořadovým číslem a písmenem. Celkem je 126 kanálů „X“, mezi kterými je vzdálenost impulsů dotazu i odpovědi 12 μ s. Kanálů „Y“ je také 126 a vzdálenost mezi danými impulsy je u dotazu 36 μ s a u odpovědi 30 μ s.
- Pro zajištění jednoznačnosti příjmu daného DME je vysílána jeho identifikační značka o frekvenci 1350 Hz, ve tvaru třípísmenného Morseova kódu, každých 30 sekund.

4.4.5 Palubní vybavení

Na palubě letadla se nachází panel, indikující vzdálenost od daného zařízení DME.

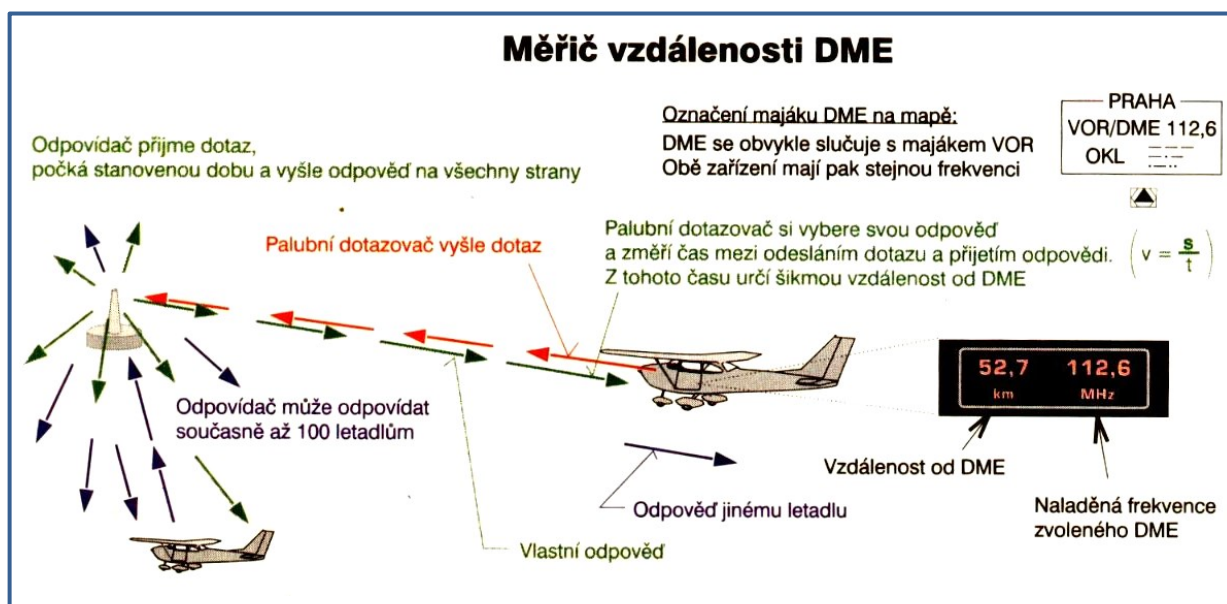


Obr. 4.4.5 Dotazovač (přijímač/vysílač) DME [29]

Přístroj může být v závislosti na typu letounu a použitých systémech instalován buďto samostatně nebo jako součást některého navigačního zařízení. Panel obsahuje tlačítka pro naladění frekvence FREQ (Frequency), otočný ovladač ladění frekvence, tlačítko RMT (Remote), umožňující zobrazení vzdálenosti od zařízení VOR/DME a přepínač GS/T (Ground speed/Time), kterým můžeme zobrazit buďto vypočítanou traťovou rychlost nebo čas přiletu k zařízení. Vzdálenost k majáku je udávána na desetiny NM.

4.4.6 Navigace s využitím DME

Zjednodušený princip navigace a funkce systému DME je popsán na obr. 4.4.6.



Obr. 4.4.6 Navigační a funkční princip systému DME [30]

4.4.7 Doslov

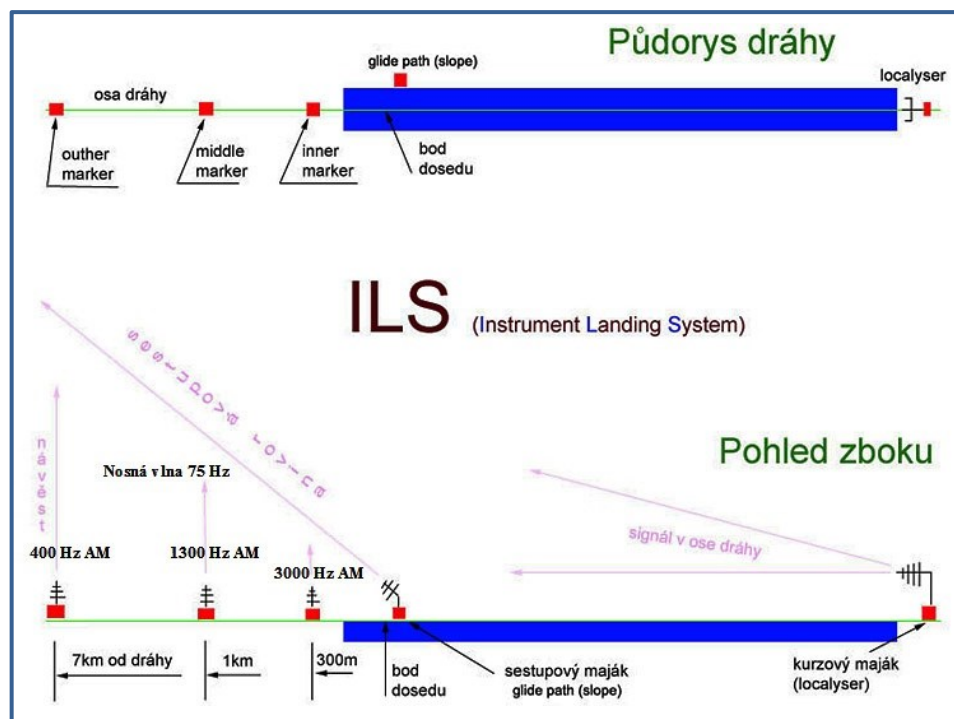
Systém dálkoměrného měření poskytuje přesnější zaměření polohy než při využití samostatných radiomajáků VOR nebo NDB. Díky neustálé znalosti polohy na radiálu může pilot snadno určit traťovou rychlost při letu na VOR. Využívání DME nabízí možnost menších rozestupů mezi letadly ve vzdušném prostoru a v kombinaci s ostatními navigačními prostředky na palubě také poskytuje přesnou znalost polohy letadla.

4.5 Systém přístrojového přiblížení ILS

4.5.1 Představení systému

ILS (Instrumen landing system) je standardizovaným navigačním systémem přesného přístrojového přiblížení na přistání za podmínek snížené dohlednosti a nízké základny oblačnosti. Fáze přistání je jednou z nejnáročnějších. ILS pomáhá tuto fázi letu zjednodušit a díky tomu snížit zatížení kladené na pilota. Vymezuje dráhu letu pro přesné naletění dané tratě a sestupu ve fázi konečného přiblížení pomocí několika majáků. ILS pracuje ve frekvenčním pásmu VHF a UHF. Základní prvky tohoto systému tvoří vysílač kursového paprsku LLZ (Localizer, česky lokalizér), vysílač skluzového paprsku GP (Glide path) a instalace dvou (vnější, střední) nebo tří (vnější, střední, vnitřní) VHF návěstidel MKR (Marker radio beacon). Systém polohových návěstidel může být doplněn plynulým

měřením vzdálenosti od prahu dráhy pomocí DME, umístěným společně na sestupovém majáku. Dalším prvkem systému je přibližovací světelný systém ALS (Approach lighting system). Dalším možným doplňkem systému je radiomaják VOR.



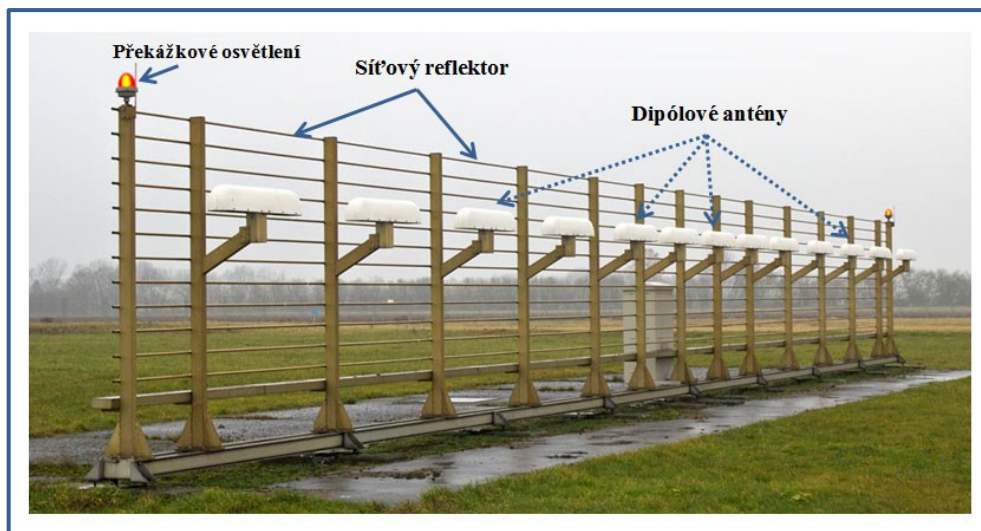
Obr. 4.5.1 Rozmístění jednotlivých prvků ILS v okolí RWY [31]

Systém ILS je rozdělen do několika kategorií podle výšky rozhodnutí a dráhové dohlednosti a spodní základny oblačnosti před přistáním. Určují tak, kdy je vypnut autopilot letadla a pilot převezme řízení k dokončení přistání. Tyto kategorie jsou také základem požadavků pro výcvik posádek a vybavení letišť.

- Kategorie I - výška rozhodnutí nad 60 m (200 ft) při dohlednosti nad 800 m nebo dráhové dohlednosti nad 550 m.
- Kategorie II - výška rozhodnutí pod 60 m, ale nad 30 m (100 ft) při dráhové dohlednosti nad 350 m.
- Kategorie III a - výška rozhodnutí pod 30 m nebo bez omezení výšky rozhodnutí při dráhové dohlednosti nad 200 m. Autopilot se sledováním poruchy.
- Kategorie III b - výška rozhodnutí pod 15 m nebo bez omezení výšky rozhodnutí při dráhové dohlednosti pod 200 m, ale nad 50 m. Letadlo vybavené zařízením úpravy rychlosti pojíždění.
- Kategorie III c - výška rozhodnutí pod 0 m, dráhové dohlednosti 0 m. Speciální případy použití.

4.5.2 Pozemní vybavení

Vysílač směrového paprsku LLZ je umístěn na opačném konci v prodloužené ose RWY letiště přibližně 300 m za koncem dráhy a vysílá paprsek v pásmu VHF ve směru osy dráhy k vnějšímu návěstidlu. Vytváří elektromagnetické pole stanovující kurzovou rovinu. Zabezpečuje horizontální vedení letounu a určuje tak, zda se nachází v ose dráhy. Je složen z jednotlivých zářičů, do kterých směřují signály s různou hloubkou modulace o dvou frekvencích 90 Hz a 150 Hz.



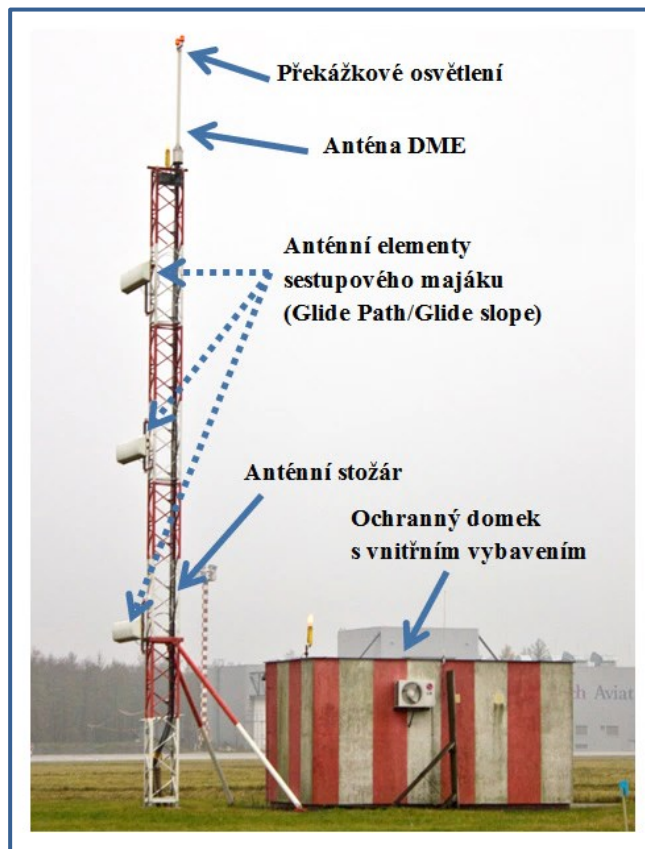
Obr. 4.5.2 Anténní systém LLZ (vlastní fotografie, Ostrava LKMT RWY 22)

Polohové návěstidlo je konstrukčně tvořeno směrovou anténou, která vyzařuje elektromagnetické pole svisle vzhůru a pokrývá tak v určitém místě stanovený úsek sestupové osy. Návěstidla vysílají na nosné frekvenci 75 MHz, která je amplitudově modulovaná klíčovacím tónem. Posádka tak může rozlišit vzdálenost od prahu RWY. [1]

Vnější polohové návěstidlo OM (Outer marker) je umístováno ve vzdálenosti 7200 m od prahu RWY a označuje bod přibližného vstupu na sestupovou rovinu. Signál OM je modulován 400 Hz a tvoří ho skupina dvou čárek za sekundu. V letadle je po jeho přeletu indikována modrá barva.

Střední polohové návěstidlo MM (Middle marker) bývá umístěno ve vzdálenosti 1050 ± 150 m od prahu RWY ve směru přistání. Přibližně vyznačuje posádce přechod z přístrojového přiblížení na vizuální. Signál MM je modulován 1300 Hz a je ve tvaru střídajících se teček a čárek. Jeho přelet indikuje oranžová barva.

Vnitřní polohové návěstidlo IM (Inner marker) se umísťuje do vzdálenosti mezi 75 až 400 m od prahu RWY. Slouží posádce k upozornění přiletu nad práh RWY. Signál IM je modulován 3000 Hz a tvoří ho skupina šesti teček za sekundu. Indikace přeletu je barvy bílé.



Obr. 4.5.3 Sestupový maják GP (vlastní fotografie, Ostrava LKMT)

Sestupový maják GP bývá umísťován přibližně 400 m od prahu RWY a 150 m na stranu od osy dráhy, v okolí bodu dosednutí letadla. Vysílá paprsek v pásmu UHF, který je modulován 2 frekvencemi, spodní strana paprsku je modulována 150 Hz, horní 90 Hz. Vytvořená sestupová rovina bývá nastavena na úhel mezi 2,5° až 3° od země. Vysílač navíc vysílá i falešné paprsky, jejichž úhel je mnohem větší, bývá okolo 12,5°.

Jedním z prvků přibližovacího světelného systému je indikace přesné přibližovací roviny PAPI (Precision approach path indicator). Indikuje polohu vůči sestupové rovině. Principem je osvětlení, vybavené optickou soustavou, rozděluje světlo na horní části do bílé barvy a na spodní do červené. Celkové barevné sestavení, které pilot vidí, je tak závislé na jeho poloze vzhledem k jednotlivým světlům. Pokud pilot vidí dvojici světél bílé barvy (nad) a druhou dvojici světél v barvě červené (pod), nachází se přesně v ose sestupové roviny.

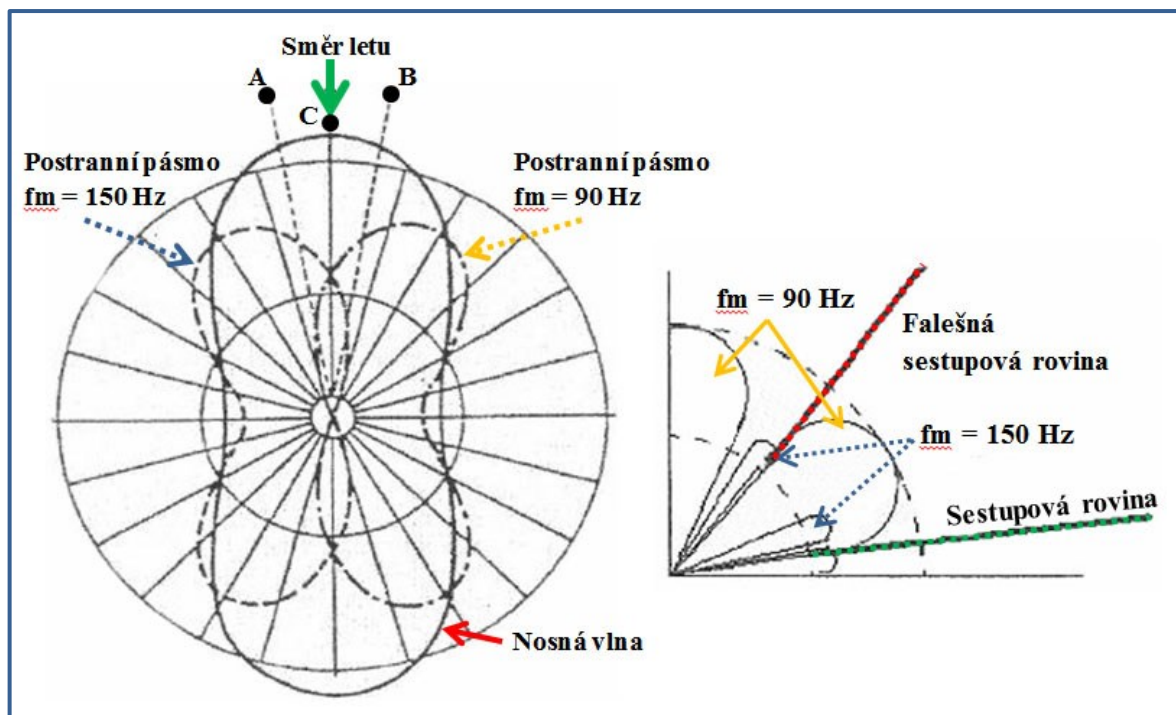


Obr. 4.5.4 Osvětlení indikace přesné sestupové roviny PAPI (vlastní fotografie)

4.5.3 Princip funkce

K představě o funkci LLZ je dobré vytvořit si modelovou situaci, kdy je anténní systém LLZ složený ze tří antén umístěných na přímce, která je kolmá na prodlouženou osu RWY, ve vzdálenosti přibližně 2 m od sebe. Antény na krajích jsou spolu spojené, ale jejich fáze je opačná. K těmto anténám je přiváděn amplitudově modulovaný signál 90 Hz a 150 Hz s potlačenou nosnou vlnou. Na střední anténu je vyslán signál nosné vlny. Velikost hloubky modulace je u signálu 150 Hz vyšší než u signálu 90 Hz. Jejich charakteristiky s popisem jsou na obr. 4.5.5. Pokud se letadlo nachází vpravo ve směru letu od kurzové roviny u bodu A je velikost hloubky modulace u signálu 150 Hz vyšší než u signálu 90 Hz. V bodě B je tomu přesně naopak a v bodě C je úroveň hloubky modulace signálu stejná. Hloubky modulací signálu jsou závislé na poloze jejich příjmu vzhledem ke kurzové rovině a z jejich rozdílu lze poté určit polohu, ve které se letadlo nachází. [1]

UHF sestupový maják využívá obdobného principu. Signál anténní soustavy, která je oproti LLZ otočena o 90° , poskytuje informaci palubnímu zařízení o odchylce od sestupové roviny. Tvorba signálu GP je technicky složitější než u antény LLZ. Modulovaná složka signálu 150 Hz je vysílána pod určitým úhlem proti zemi, kde je umístěna odrazná plocha. Signál se poté projevuje stejným způsobem, jako kdyby byl vysílán kompletní skupinou zářičů. GP nevysílá svou identifikaci a jeho frekvence jsou vázány na frekvence LLZ.



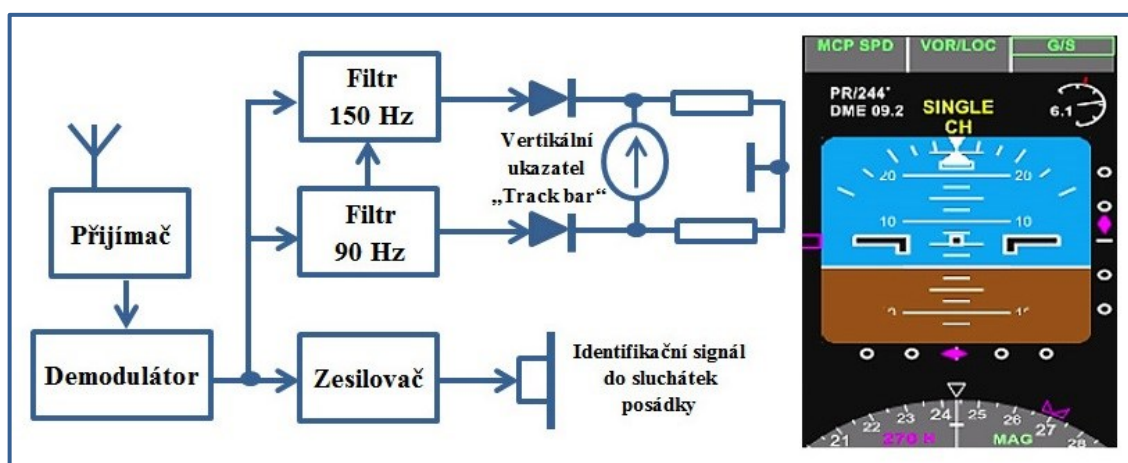
Obr. 4.5.5 Vyzařovací charakteristika LLZ (vlevo) a GP (vpravo)

4.5.4 Parametry systému

- Kurzorový maják – pracovní frekvence jsou od 108 MHz až 111,975 MHz s rozpětím 50 kHz mezi kanály, vysílání je polarizováno horizontálně. V tomto rozmezí kmitočtů pracuje pouze s frekvencemi, které mají na desetinném místě liché číslo (frekvence VOR sudé). Majáky vysílají tři amplitudově modulované složky 90 Hz, 150 Hz a 1kHz jako identifikaci, zbylé pásmo lze využít například pro fonetickou identifikaci RWY.
- Sestupový maják – pracovní frekvence jsou od 328,6 MHz až do 335,4 MHz a jsou párovány s frekvencemi LLZ dle předpisu L10. Vysílání je polarizováno horizontálně. Velikost hloubky modulace nosného kmitočtu každým z navigačních tónů 90 Hz a 150 Hz na sestupové čáře, nesmí překročit rozmezí 37,5 % až 42,5 %.
- Traťová návestidla – nosný kmitočet je dán celosvětově na 75 MHz, vysílání je polarizováno horizontálně, modulačních kmitočtů musí být dodrženy s přesností $\pm 2,5$ %, hloubka modulace 95 % ± 4 %, zabezpečení krytí měřených na sestupové rovině a kurzové čáře je definováno pro OM 600 m ± 200 m, MM 300 m ± 100 m, IM 150 m ± 50 m.

4.5.5 Palubní vybavení

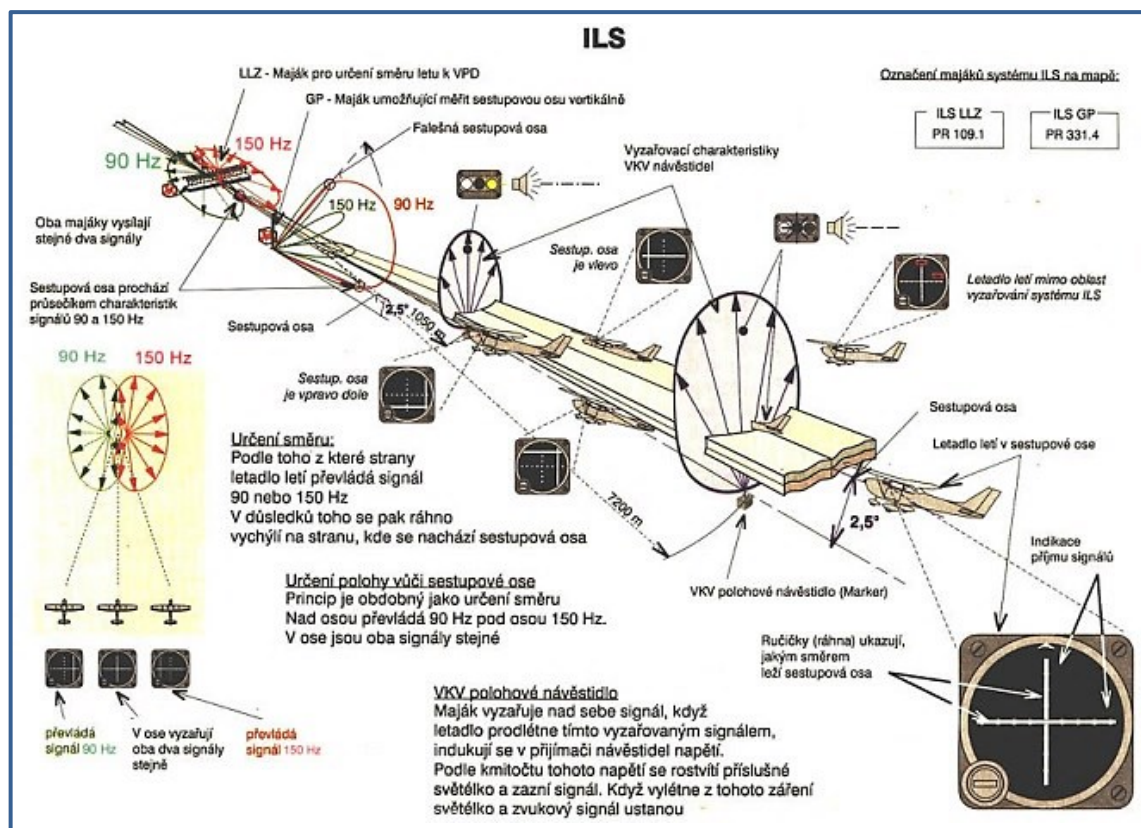
Indikátorem směrového a skluzového paprsku je ukazatel odchylky VOR/ILS neboli ukazatel situace v horizontální rovině HSI (Horizontal situation indicator). Na základě signálů z palubních přijímačů LLZ a GP ukazuje polohu letounu vůči ideální sestupové ose. Signály z těchto přijímačů lze také využít v systému autopilota letadla. Indikátor HSI je v některých typech letounů zabudován v systému elektronického zobrazení letových přístrojů EFIS (Electronic flight instrument system), který jako zobrazovací technologie využívá elektronických displejů namísto klasických elektromechanických ukazatelů. Vertikální a horizontální břevno je u tohoto přístroje vyobrazeno jako růžový kosočtverec v okolí zobrazení umělého horizontu. Vertikální ukazatel indikuje, je-li letadlo nad nebo pod sestupovou rovinou nebo přesně na sestupové rovině GP. Horizontální ukazatel indikuje totéž, ale vzhledem ke kurzové rovině LLZ. Blokové schéma přijímače a ukázka elektronického zobrazení je na obr. 4.5.6.



Obr. 4.5.6 Schéma přijímače kurzového majáku a indikace odchylek na elektronickém primárním letovém displeji (zdroj: Flight Simulator 2004)

4.5.6 Přístrojové přiblížení pomocí ILS

Zjednodušený princip indikace přístrojů při přiblížení pomocí ILS a rozložení jednotlivých vytvářených rovin v prostoru je spolu s popisem na obr. 4.5.7.



Obr. 4.5.7 Popis průběhu přiblížení na ILS [32]

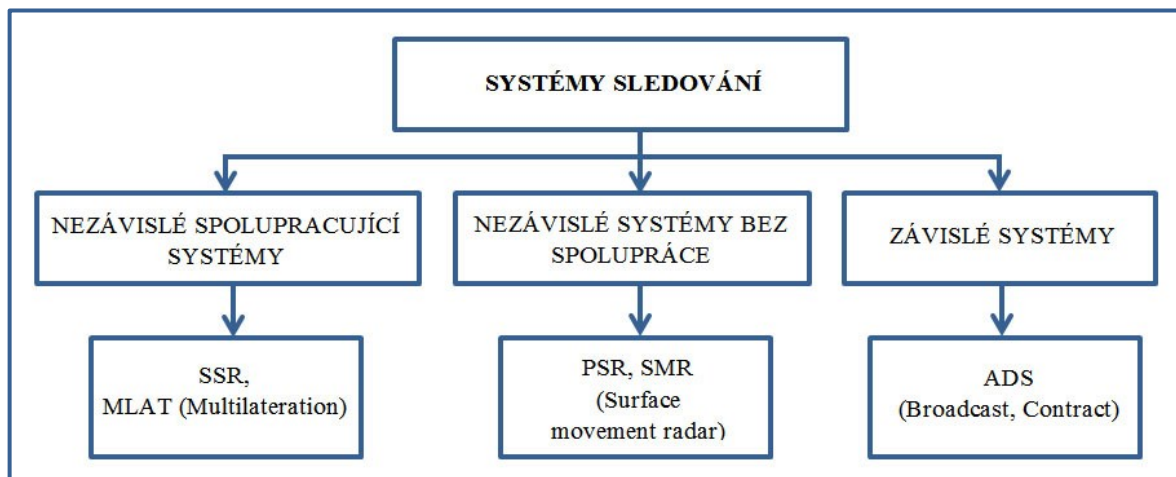
4.5.7 Doslov

Nevýhodou ILS je jeho ovlivnění okolním terénem a překážkami. Nemůže tak být v některých oblastech zaveden. Jako u ostatních zařízení i u ILS jsou systémy neustále sledovány, kontrolními parametry jsou například hloubka a poměr modulačních signálů. Monitorování majáku LLZ má na starost FFM (Far field monitor), který je na obr. 4.5.8.



Obr. 4.5.8 Sledovací anténa kurzového paprsku LLZ (vlastní fotografie)

5. Prostředky sledování



Obr. 5.1 Rozdělení sledovacích systémů podle použité techniky a součinnosti

- Nezávislé spolupracující systémy - sekundární přehledové radary SSR (Secondary surveillance radar) a multilaterační systémy MLAT (Multilateration). Jejich nezávislost spočívá ve schopnosti zjišťování polohy nezávisle na sledovaném cíli, ale je nutná instalace odpovídače na letadle a jejich vzájemná spolupráce. Dohromady tak tvoří systém.
- Nezávislé systémy bez spolupráce - primární přehledové radary PSR (Primary surveillance radar) a letištní pojezdové radary SMR (Surface movement radar). Jejich nezávislost spočívá ve schopnosti zjišťování polohy nezávisle na sledovaném cíli, zpětná technická spolupráce od sledovaného objektu není nutná.
- Závislé systémy - automatické závislé systémy ADS (Automatic dependent surveillance). Určování polohy je zjišťováno systémy na palubě letadla, pozemní přehledový systém pouze přijímá kódované zprávy z letadel a nezjišťuje polohu jinými prostředky. Systém je tak plně závislý.

5.1 Radiolokace obecně

Historie radiolokace sahá do období před druhou světovou válkou a vynálezem zdrojů elektromagnetického vlnění o velmi malé vlnové délce v řádu decimetrů nebo několika centimetrů. Nejběžnějším zdrojem mikrovlnného záření se stal magnetron, který můžeme nalézt i v běžném domácím spotřebiči, mikrovlnné troubě. V současnosti se jako zdrojů vysokofrekvenčního záření nově využívá polovodičových prvků.

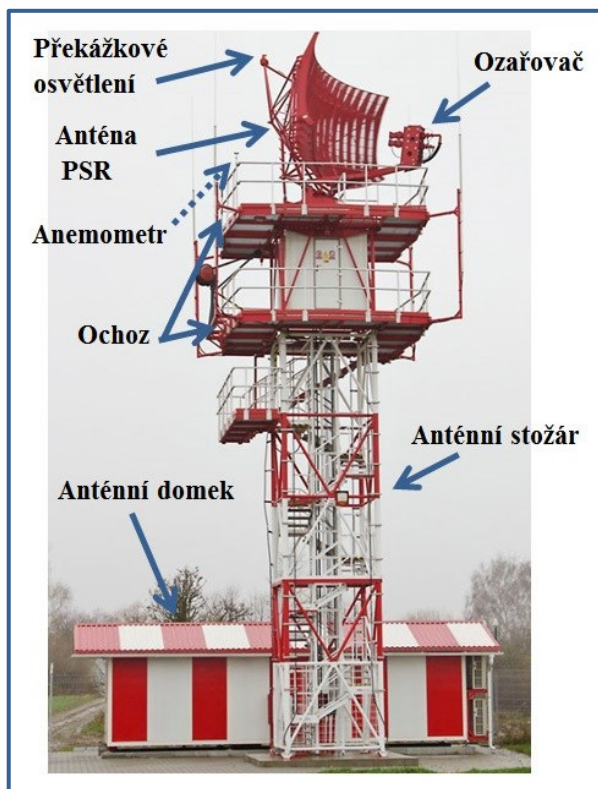
Obecně je radiolokace procesem zjišťování a určování polohy objektů (cílů) v oblasti civilního a vojenského letectví pomocí zařízení nazývaného radiolokátor nebo RADAR (Radio detection and ranging). Radarové systémy jsou velmi složité a obsahují velký počet různých prvků, v základním pojetí je radarový systém složen z vysílače, přijímače a indikátoru. [1]

Umožňuje tak pracovníkům řízení letového provozu přesnou a spolehlivou znalost polohy letadel ve vzdušném provozu a možnost jejich koordinace na letových cestách, zajištění požadovaných rozestupů a bezpečného navádění letadel na letiště ve fázi konečného přiblížení. Pro tyto a další účely využíváme primárních a sekundárních radarů, multilateračních systémů a v posledních době také znalost polohy letadel pomocí datových spojů, které využívají jiných než klasických radarových prostředků.

5.2 Primární přehledový radar PSR

5.2.1 Představení systému

Primární radar jako zařízení lze zařadit mezi aktivní radary. Anténa radaru prohledává okolní prostor vyzařováním vysokofrekvenční energie formou impulsů nebo stálé vlny pomocí vysílače. V době mimo vysílání, přijímá odrazy od objektů ze směru, kam byla energie vysílána pomocí přijímače.



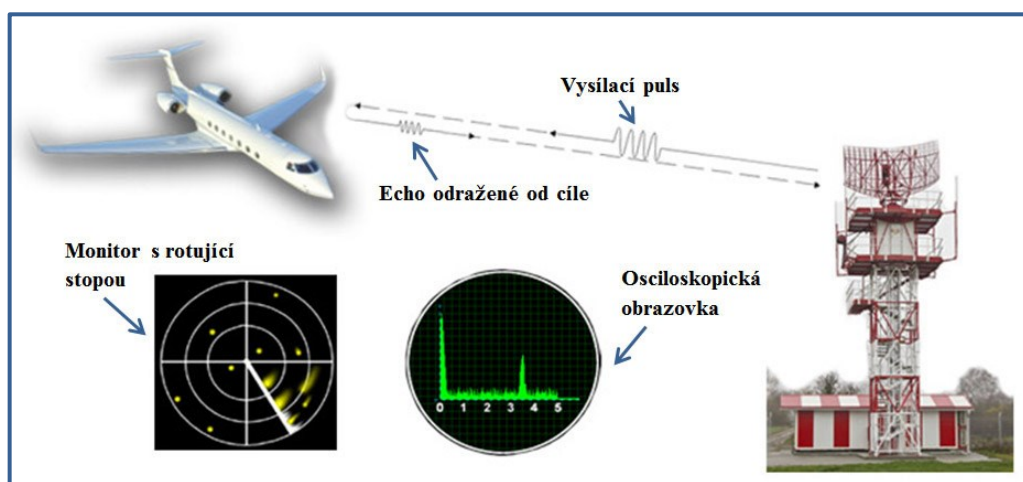
Obr. 5.2.1 Primární přehledový radar, Ostrava LKMT (vlastní fotografie)

Hodnota odražené energie je vzhledem k vyslané energii velmi malá, úspěch detekce je tak závislý na schopnosti radaru rozlišit užitečný signál od šumu. Slovo primární vyjadřuje u tohoto radaru tu vlastnost, že pracuje bez jakékoli spolupráce se sledovanými objekty, které jsou schopny odrazit určité množství energie. Informace o vzdálenosti a směru objektu se dále zpracovávají a zobrazují obsluze radiolokátoru.

Využití primárního radaru je velmi rozsáhlé, od sledování letadel, detekci nepřátelských cílů, meteorologických objektů, přes kontrolu rychlosti vozidel, až po skenování povrchu planet. V oblasti letectví je jejich rozdělení závislé na způsobu využití v oblasti řízení letového provozu. K účelu sledování objektů na velkém prostoru a ve velké vzdálenosti slouží PSR (Primary surveillance radar). Terminálový (okrskový) radar TAR (Terminal area radar) zase slouží při přistávání, sleduje překážky nad horizontální rovinou a je charakteristický vyšší frekvencí otáčení, menším vyzařovaným výkonem a dosahem přibližně do 200 km. Radary pro přesné přiblížení na přistání jsou označovány jako PAR (Precision approach radar) jenž mají dvě antény kmitající ve vertikálním a horizontálním směru. Dalším typem může být radar pro detekci pohybů letadel a dalších objektů na letištní ploše SMR (Surface movement radar), zobrazuje i nepohyblivé cíle.

5.2.2 Princip funkce a jednotlivé prvky PSR

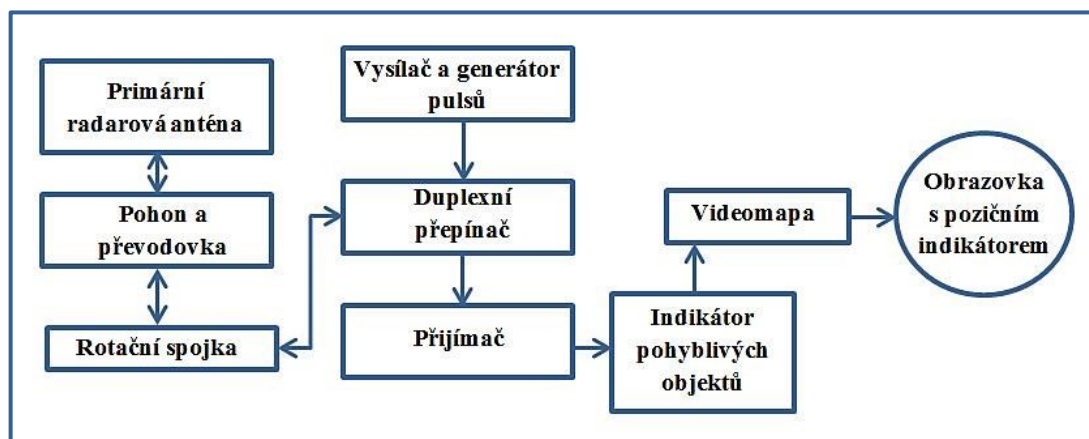
Informace o vzdálenosti sledovaného cíle je vypočtena měřením času mezi vysláním výkonového pulsu a příjmem odrazu („echo“), na základě rychlosti šíření elektromagnetického vlnění. Pomocí aktuálního údaje o azimutální poloze směrového anténního svazku je vypočtena informace o směru objektu.



Obr. 5.2.2 Princip primární radiolokace

Primární radar tak zjišťuje polohu cíle v polární soustavě souřadnic v rovině, kde jedna souřadnice udává vzdálenost cíle od počátku souřadnic a druhá souřadnice udává úhel spojnice cíle a počátku od zvolené osy kartézských souřadnic ležící v rovině. [22]

Úspěch zachycení cíle je závislý především na schopnosti radaru odlišit odrazy skutečných cílů od cílů falešných. Vyhodnocování zachycení cíle je tak kompromisem mezi pravděpodobností detekce a množstvím falešných cílů. Na obr. 5.2.3 je zjednodušené blokové schéma primárního radaru. Jeho některé prvky si popíšeme dále.



Obr. 5.2.3 Blokové schéma primárního radaru

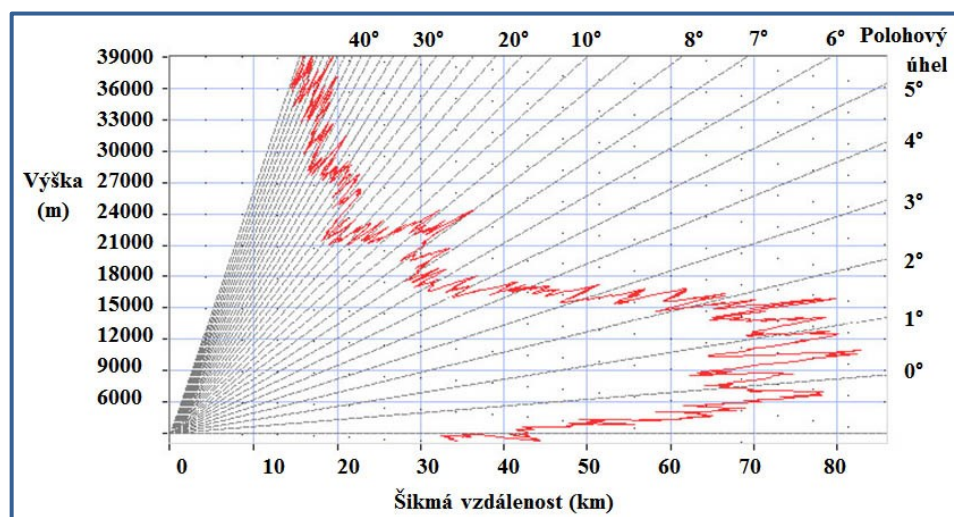
- Anténa – u radarů je využíváno směrových antén, jsou určeny jak pro vysílání tak příjem odražené energie. Nejpoužívanějším typem antény, je anténa parabolická, kdy se signál z určitého směru odrazem od reflektivní plochy soustřeďuje do ohniska kde je umístěn přijímač. Naopak při vysílání je signál vyzářen na odraznou plochu ozařovačem („*feed horn*“), od které se odráží do prostoru podle daného zakřivení odrazné plochy. Jiným typem antén mohou být například fázované (ploché) antény, které využívají velkého počtu jednotlivých prvků jako zdroje vysokofrekvenčního záření. Tyto prvky jsou ve formě malých polovodičových zářičů (aktivní fázovaná anténa) nebo je velký počet malých zářičů napájen z jediného generátoru o velkém výkonu (pasivní fázovaná anténa), který rozděluje energii k jednotlivým zářičům. Výkon a způsob vysílání jednotlivých prvků lze elektronicky ovládat, to umožňuje jejich nepohyblivou konstrukci.
- Vysílač – jeho základem je výkonový zdroj elektromagnetických vln, napájecí zdroj a modulátor. Dříve využívali jako výkonového elektronkové prvky jako magnetron nebo klystron. Jejich výhodou je malá šířka vysílacího pulsu ($\sim 1 \mu s$) k dosažení dobré rozlišovací schopnosti. Dnes je využíváno vysílačů s výkonovými tranzistory, které jsou odolnější proti celkovému výpadku, ale mají menší pulzní výkon.

- Přijímač – využívá superheterodynní zapojení a nízkošumových tranzistorů, jeho vlastnosti jsou monitorovány.
- Extraktor – vyhledává odrazová echa v přijímaném signálu. Jeho výstupem je tzv. „plot“, který je definován souřadnicemi o šikmé vzdálenosti a azimutu cíle. Informace je dále číslíkově zpracovávána.
- Tracker – tvoří tzv. „tracky“, přidáním hodnoty vektoru rychlosti k souřadnicím cíle. Lze tak předpovědět polohu cíle v následující periodě otáčení antény.
- Vlnovod – je základním napájecí částí, kterou se přenáší vysokofrekvenční energie z vysílače do antény a zpětně z antény do přijímače. Jde o určitý typ speciálně upraveného vodiče.
- Rotační spojka – slouží k přenosu vysokofrekvenční energie mezi vysílačem a rotující anténou.
- Duplexer – odděluje vysílací a přijímací trasy, tento přepínač připojuje podle potřeby anténu k vysílači nebo přijímači. Využívá speciálních plynem plněných součástek.
- Diplexer – kvůli zdvojení vysílacích a přijímacích stupňů, mezi společnou vlnovodnou trasou, které pracují na různých kmitočtech, je nutno stupně na vstupech do společné části vlnovodu sloučit při vysílání, případně rozbočit na vstupech přijímačů při příjmu.
- Radom – je využíván u některých anténních systémů radarů k ochraně před povětrnostními vlivy a umožňuje technickou kontrolu zařízení bez ohledu na vlivy počasí. Jsou vyrobeny z materiálu o malém útlumu elektromagnetického signálu. Jejich odolnost bývá velmi vysoká.

5.2.3 Parametry a vlastnosti primárního radaru

- Perioda otáčení antény – čas potřebný k obnově informace o poloze sledovaného cíle. Tato doba je různá v závislosti na využití radaru. Oblastní radary pracují s periodou otáčení kolem 8 až 12 s, u radarů koncové řízené oblasti se tato doba pohybuje v řádu 4 s a u radarů sledujících pohyby na provozní ploše v řádu 1 s.

- Používané frekvence – jako nosné frekvence radarů se používá elektromagnetického vlnění o frekvencích v řádu od stovek MHz až po desítky GHz, to odpovídá vlnovým délkám přibližně od 1 mm do 150 cm. Využití daných frekvencí je dáno účelem použití radaru a technickými možnostmi vysokofrekvenčních generátorů. Nosná vlna je většinou amplitudově modulována pomocí pulsní modulace.
- Opakovací frekvence – je to počet vyslaných impulsů za 1 s. Z rychlosti šíření elektromagnetického vlnění lze spočítat, že doba 1 μ s, kdy se radarový impuls navrátí nazpět od odraženého cíle je rovna přibližné délce 150 m. Perioda mezi vysíláním jednotlivých pulsů tak souvisí s maximální použitelným dosahem radaru.
- Maximální dosah – jeho teoretický výpočet se dá získat pomocí radiolokační rovnice, kde je závislostí vyslaného výkonu, zisku antény, vlnové délce a velikosti efektivní odrazné plochy.
- Vyzařovací charakteristika – někdy také přezdívaná „listová“ charakteristika, kde na horizontální ose uvádíme šikmou vzdálenost cíle a na vertikální ose výšku vyzařovacího svazku radaru. Dalším znakem je měřítko výškového úhlu, které není rovnoměrné a efektivní plocha antény a ekvivalentní odrazná plocha cíle.



Obr. 5.2.4 Ukázka diagramu vertikálního krytí radarového prostoru [33]

- Výkon vysílače – jeho hodnoty se pohybují v řádu od jednotek W po jednotky MW pulsního výkonu, dle jeho určení. U generátorů, které nejsou schopny dodávat potřebný výkon, se využívá dlouhých vysílacích pulsů k dosažení potřebné energie.

- Falešný cíl – zobrazení cíle na radaru, který neodpovídá skutečnosti. Je způsoben elektromagnetickými šumy, odrazy od pevných překážek a meteorologickými jevy. Rušivé jevy se dynamicky mění a volí se optimální rozsahy parametrů pro uživatele.

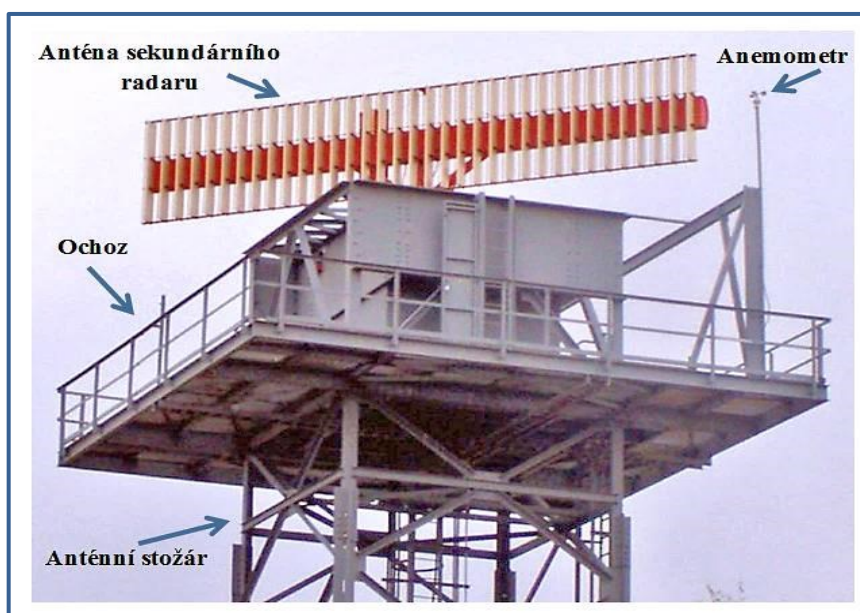
5.2.4 Doslov

Největší výhodou primárního radaru je jeho schopnost detekce cílů bez nutné spolupráce doplňujících systémů na sledovaném objektu. To je důležitá vlastnost s ohledem na možné nouzové situace, kdy může dojít k výpadku palubních přístrojů nebo k neohlášenému vniknutí do řízeného prostoru. Nevýhodou tohoto typu radaru je pak jeho cena a technická náročnost. V blízké zóně oblasti nad vyzařovací anténou zase vzniká tzv. „mrtvý kužel“, kde je detekce objektů vyloučena. [22]

5.3 Sekundární přehledový radar SSR

5.3.1 Představení systému

Sekundární radar SSR (Secondary surveillance radar) je systémem využívajícím jiné metody zjišťování polohy letadel než je tomu v případě PSR. S jeho pomocí lze nejenom určovat samotnou polohu letadel, ale i další informace, které jsou definovány módem dotazu sekundárního radaru. Systém v sobě zahrnuje pozemní dotazovač (interrogator), který vysílá vhodně kódovaný signál, jenž po příjmu a vyhodnocení vyvolá pracovní činnost odpovídače (transponder), palubního zařízení informujícího pozemní stanici radaru o potřebných údajích o letadle formou vyslání signálu. Pozemní radar tyto údaje přijme a dále vyhodnocuje.



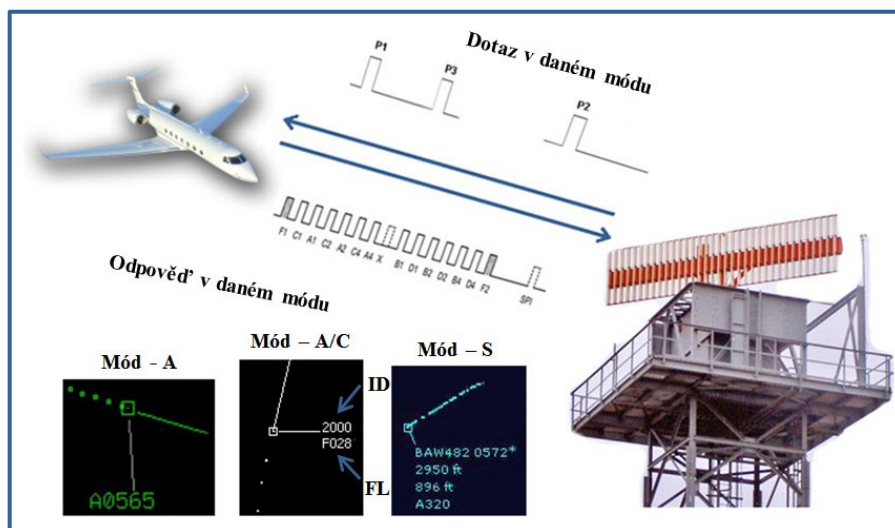
Obr. 5.3.1 Sekundární radar SSR [34]

Rozdílem oproti primárnímu radaru je tak nutná zástavba přídavného zařízení na letadle a vzájemná spolupráce s pozemním zařízením. Sekundární radar pracuje v pásmu UHF, podobný způsob komunikace využívá i DME.

Sekundární radiolokace poskytuje pozemním operátorům jednoznačnou identifikaci sledovaného cíle, kterou by samotný primární radar neumožňoval. Jde například o „squawk“, čtyřčíselný kód nastavitelný na palubě letadla, informace o aktuální barometrické výšce nebo další rozšiřující informace jako je vertikální rychlost letounu, indikovaná rychlost a další. Sekundární radary jsou známy pod zkratkami SSR (Secondary Surveillance Radar), případně jeho odvozenými vylepšenými verzemi MSSR (Monopulse secondary surveillance radar) a MSSR-S (Monopulse secondary surveillance radar S-mode).

5.3.2 Princip funkce a jednotlivé prvky SSR

Vzdálenost cíle je u sekundárního radaru zjišťována měřením doby mezi vysláním dotazu a příjmem odpovědi od cíle pomocí známé rychlosti šíření elektromagnetického vlnění. Na základě známého úhlu natočení antény v okamžiku vyslání a příjmu odpovědi je určena úhlová poloha cíle oproti stanovišti radaru. Získáme tak dvourozměrnou informaci o a směru a šikmé vzdálenosti sledovaného objektu. Navíc další informace zakódované do odpovědi.

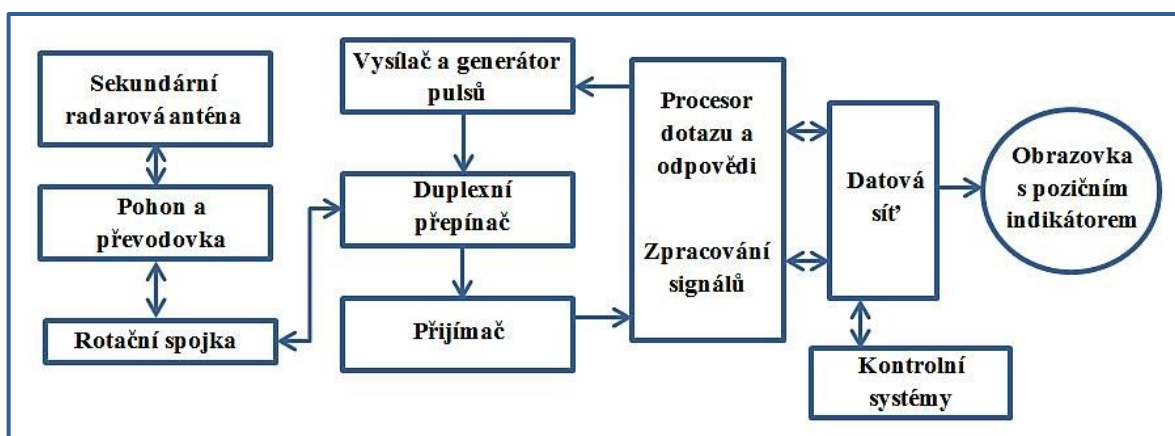


Obr. 5.3.2 Princip sekundární radiolokace

Signál dotazovače je vyslán formou pulsů P_1 , P_2 a P_3 . Časová odlehlost dvojice P_1 a P_3 udává odpovídači informaci o typu dotazu, to znamená módu A, kdy je časová odlehlost mezi signály 8 μ s nebo módu C, kdy je časová odlehlost pulsů 21 μ s. Dotazy jednotlivých módů se střídavě prokládají (ACACAC). Tyto dva pulsy jsou vysílány směrově, puls P_2 je

naopak vysílán všesměrově a slouží k potlačení odpovědi na dotazy z nechtěných postranních laloků hlavního směrového svazku antény. P_2 je posunut oproti prvotnímu dotazovacímu pulsu dotazu o 2 μ s. Palubní odpovídač porovnává velikosti amplitud pulsů P_1 a P_3 oproti velikosti pulsu P_2 . Pokud je amplituda pulsu P_2 stejná nebo větší než u obou zbývajících, odpovídače nevyšle odpověď. Tato funkce se nazývá SLS (Side lobe supresion). Vysílač je přepnut do přijímacího stavu v okamžiku vyslání pulsu P_3 . Vyhodnocovací obvody dotazovače stanovením středníku azimutální polohy první a poslední přijaté odpovědi výsledný směrnik cíle. [22]

Palubní odpovídač po vyhodnocení přijatého signálu odpovídá přibližně dvaceti až třiceti odpověďmi za dobu jedné periody otáčení dotazovače. Odpovídač letadla posílá sestavenou odpověď z impulsů, ohraničených rámcovými pulsy F1 a F2.



Obr. 5.3.3 Blokové schéma sekundárního radaru

- Dotazovač – je zařízení pro vysílání dotazu letadlům a přenos dat. Toto označení je někdy používáno jako název celého radarového systému.
- Odpovídač – je zařízením na palubě letadla, sestavující odpověď na specifický dotaz. Rozhraní odpovídače je propojeno s tlakoměrnou ústřednou a se sběrnici avionických systémů letadla. Jednotlivé kódy a způsoby vysílání odpovídače se nastavují pomocí ovládacího panelu.



Obr. 5.3.4 Palubní odpovídač (SBY – pohotovostní režim, ALT – mód identifikace + výška, IDENT – jednorázový zesílený puls na vyžádání, pro informování kontroly řízení) [35]

- Anténa – jako antény je využito zářičů formou spojení jednotlivých dipólů, ve tvaru různě dlouhých obdélníkových antén. Reflektor antény tvoří kovová mřížka, která je umístěná v oblasti napájení dipólů. Anténní řady vytváří dvě směrové vyzařovací charakteristiky Σ (suma) a Δ (delta). Jsou doplněny anténním prvkem vytvářející všesměrový svazek Ω (omega), pro potlačení vlivu postranních laloků.
- Rotační spojka – umožňuje spojení pevné části vysokofrekvenčního napájení s rotující anténou a jsou na ní umístěny snímače polohy.
- Procesor dotazu a odpovědi – je tvořen obvody pro zpracování signálu a obvody pro zpracování dat. Odstraňuje vlivy způsobené vzájemným a nesynchronním rušením přijímaných signálů.
- Používané frekvence – sekundárnímu radaru je celosvětově vyhrazen jeden vysílací kmitočet radaru 1030 MHz a jeden přijímací kmitočet 1090 MHz. Tyto frekvence využívají například i protisrážkové systémy letadel.

5.3.3 Parametry a vlastnosti sekundárního radaru

- Reflexe – projevuje se jako falešný cíl, jeho poloha neodpovídá správné poloze indikovaného letadla. Příčinou je odraz elektromagnetických vln od překážky, jak při příjmu, tak při vysílání. Bývá automaticky potlačován.
- Fruit (False reply uncorrelated in time) - označení jehož významem je vzájemné rušení nesouvisejícího příjmu odpovědí z letadel, které jsou vyvolány pomocí jiného radaru, než se kterým dochází ke komunikaci.
- Garbling – česky „zkomolení“ je označení pro potíže s odlišením obsahu jednotlivých odpovědí letadel, které jsou přijímány totožným radarem na jeho vlastní dotaz. Byl jedním z důvodů zavedení selektivního módu S.
- Jednotlivé typy módu dotazu – vyjadřují kódování dotazu odpovídající požadované informaci z odpovídače letadla. V základním módu vysílání A (alfa) je poskytován čtyřmístný identifikační kód. Kód 7500 nastavuje pilot při nezákonném zásahu na palubě, kódem 7600 označujeme ztrátu spojení a kódem 7700 stav nouze. Standartní kód odpovídače při letu za vidu je 7000 a při letu podle přístrojů 2000 pokud není pilot

vyzván k jinému nastavení od řídicího provozu. Mód C poskytuje navíc i informaci o barometrické výšce letadla. V případě módu S (selektivní) jsou vysílány krom pulsů P_1 a P_3 další pulsy P_4 , P_5 , P_6 . Palubní odpovídač v tomto módu odpoví na dotazy určené pouze jemu a ostatní dotazy na základě své vlastní unikátní adresy ignoruje, což snižuje množství odpovědí na kmitočtu 1090 MHz. Zobrazuje se také volací znak letounu, pokud je pilotem nastaven. Nejnovější módem je mód S (ADS-B) kdy odpovídač vysílá kromě základních informací módu S také informace o rychlosti, kurzu („*heading*“), úhlu stoupání a klesání nebo cílové hladině.

5.3.4 Doslov

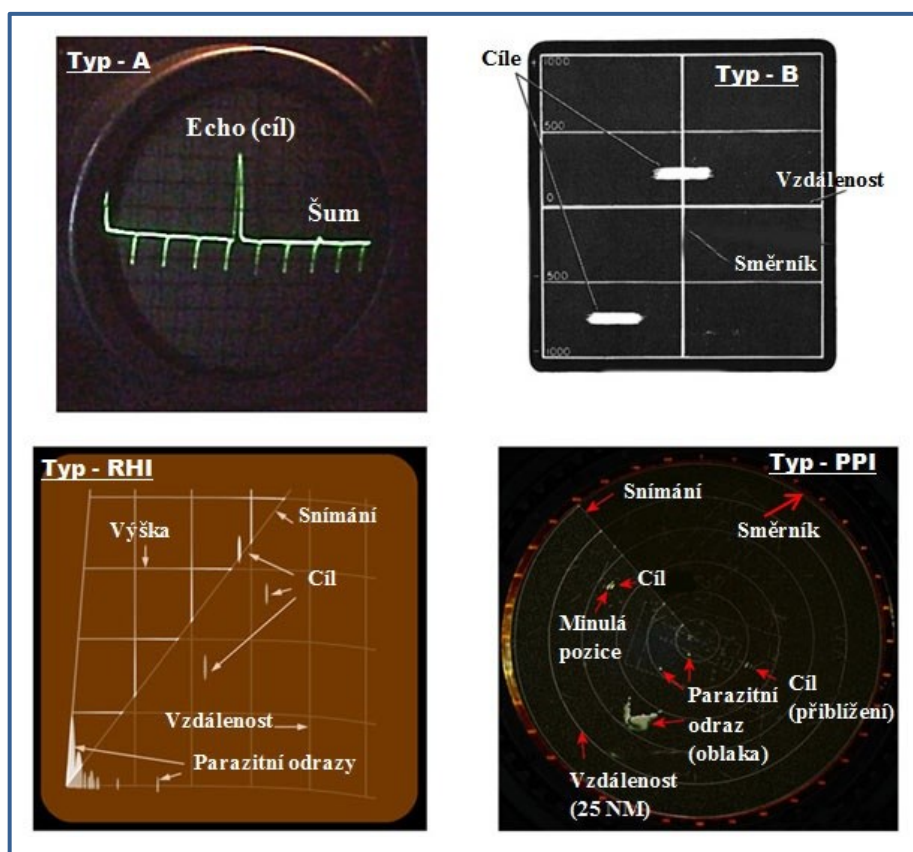
Úhlová chyba při určování polohy oproti primárnímu radaru je větší a změna zobrazovaného směrníku je pomalejší a méně výrazná na zobrazovacích jednotkách. Z tohoto důvodu je tak sekundární radar budován společně s primárním radarem, který tuto chybu („*jitter*“) kompenzuje. V tomto společném systému tak primární radar slouží k přesnému zjištění polohy letadla a sekundární k doplnění jeho identifikačních a dalších informací. Velkou výhodou sekundárních radarů je možnost využití mnohem menších vyzařovacích výkonů k detekci cílů, což souvisí také se značně nižšími náklady na potřebné vybavení.

5.4 Zobrazení radarové informace

V minulosti bylo vyvinuto několik různých typů jednoduchých zařízení k zobrazení výstupních radarových informací, některé zde uvedu a popíšu jejich základní vlastnosti. V dnešní době využívají moderní radarové systémy obvykle elektronických displejů s rastrovými mapovými podklady leteckých tratí, koridorů a otočných bodů.

Na obrázku 5.4.1 jsou zobrazeny jednotlivé typy zobrazovacích obrazovek („*scope*“), které byly využívány ke sledování radarových cílů, jedná se o typy A, B, RHI (Range height indicator) a PPI (Plan position indicator).

- Obrazová jednotka A – poskytuje k zobrazení pouze vzdálenost k cíli a relativní sílu ozvěny (echa). Tento typ zobrazení se obvykle využíval u zbraňových radarových systémů, v období druhé světové války. Jako zobrazovací technologie využíval CRT (Cathode ray tube) obrazovku, na horizontální ose pak bylo možné odečíst hodnotu vzdálenosti sledovaného cíle.



Obr. 5.4.1 Některé typy zobrazovacích jednotek radarů [38]

- Obrazová jednotka B – tato jednotka obrazovce poskytuje dvourozměrnou reprezentaci prostoru. Na vodorovné ose měříme azimut cíle, svislá osa poskytuje údaj o vzdálenosti cíle v kladném a záporném rozsahu. Odražené signály se jeví jako světlé skvrny. Jejich použití bylo na palubách letadel, kdy ve vzduchu sledovali nepřátelské cíle a dokázali automaticky sledovat jejich polohu.
- Obrazová jednotka typu RHI - je využívána ke sledování výšky na vodorovné ose a vzdálenosti cíle na svislé ose. Obrazovka má nastavený síťový rozsah k odečtení hodnot. Čára snímání vzniká v dolní levé části rozsahu a pohybuje se skrz rozsah směrem vpravo dolů, pod úhlem, který je stejný jako úhel sledovacího radaru. Odrazy od cílů jsou zobrazeny na rozsahu jako zvýrazněné svislé skvrny. Operátor si může nastavit rozsah zobrazených výšek a poté odečíst výšku cíle a vzdálenost z číselníku nebo formou digitálního výstupu.
- Obrazová jednotka typu PPI – je jedním z nejpoužívanějších typů zobrazovacích radarových displejů. Pracuje v oblasti polárních souřadnic. Vlastní relativní poloha je reprezentována jako původ snímání cyklu a bývá obvykle umístěna ve středu rozsahu obrazovky. Jedna otáčka na displeji rotuje se stejnou rychlostí, jakou se

pohybuje anténa radaru, vytváří se tak oblasti s neaktuální polohou cíle v závislosti na rotaci antény. Záření sledovaného cíle tak mírně klesá, dokud k němu cyklus znovu nedorazí.

Moderní zobrazovací jednotky používané na současných stanovištích řízení letového provozu využívají velkých elektronických zobrazovacích jednotek. Dávají možnost sledovat aktuální polohy sledovaných cílů s velmi krátkou dobou obnovy informace. Jako vstupy využívají primárních, sekundárních i multilateračních systémů. Je možno si tak zobrazit nejen kompletní vzdušnou situaci, ale navíc i elektronické seznamy letadel („*stripy*“), které jsou aktuálně v daných sektorech. Operátorům se zobrazují základní informace jako je volací číslo letadla, přidělený identifikační kód, typ letadla a nejbližší traťové body daného letu. Operátor má možnost individuálně přidělovat vlastní meze povolení k vybranému letadlu, například povolenou letovou hladinu.



Obr. 5.4.2 Moderní zobrazovací terminál služeb řízení letového provozu (oblastní řízení) [37]

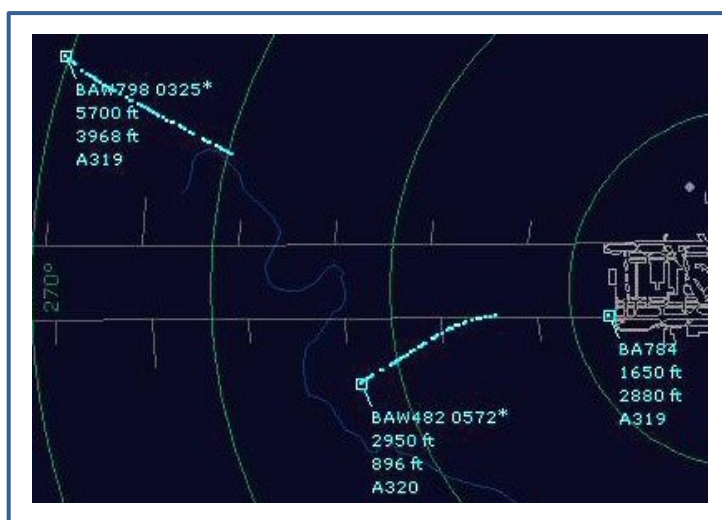
Moderní displeje využívají k zobrazení cílů buďto analogového („*raw video*“) nebo syntetického zobrazení sledovaných cílů.

Analogové zobrazení je na obrazovce zobrazeno přibližně jako obdélníková skvrna, odpovídající odraženému signálu. Stopa cíle se obnovuje každým cyklem otočení radaru. Původní neaktuální poloha cíle je zobrazená formou snížené intenzity barvy skvrny, jako tomu bývalo u starších typů obrazovek. Minulé polohy cílů vytvářejí obraz, kterým je možno se zorientovat o budoucím směru cíle a jeho rychlosti. Na obr. 5.4.3 je uveden příklad tohoto typu zobrazení.



Obr. 5.4.3 Analogové zobrazení radarové informace [40]

Syntetické videodispleje používají počítač, který na displeji dokáže eliminovat rušivé vlivy a vytváří tak vlastní přesné symboly sledovaných cílů. Zobrazení používá záznam minulých poloh jako je tomu u analogového zobrazení, většinou ve formě teček. Příklad takového zobrazení radarové informace je na obr. 5.4.4.



Obr. 5.4.4 Syntetické zobrazení radarové informace [39]

U radarového zobrazení se lze setkat s jevem označovaným jako „andělé“. Některé zobrazené cíle někdy mohou svou trajektorií pohybu připomínat ohyby skutečných objektů. Ve většině případů se jedná například o hejna ptáků, nevyvážené prostředí atmosféry nebo průmyslové exhaláty. Výskyty těchto jevů se snižují vhodnými postupy nastavení radarové techniky.

6. Výukový program

6.1 Úvod

Pro tvorbu mého výukového programu, který je hlavní součástí této bakalářské práce jsem se rozhodl využít různých typů informačních kanálů. Způsobem výuky pomocí prezentací s obsahem jednotlivých prostředků zabezpečovací techniky bych chtěl studentovi danou problematiku přiblížit metodou, která mu nabídne lépe zpracovat poskytované informace. Kromě samotného sluchového vjemu, výkladu přednášejícího, je mu zároveň dána možnost sledovat informaci v obrázkové formě. To mu může pomoci k lepšímu zapamatování dané látky. Druhým způsobem interpretace informací studentovi je vytvoření internetových stránek, na kterých bude moci nalézt jak samotnou teoretickou část bakalářské práce, tak část pro stažení a prohlídku prezentací. Dále se na webových stránkách budou nacházet odkazy na server youtube.com pro zhlédnutí videozáznamu přiblížení na přistání pomocí ILS a typu přiblížení VOR/DME. Konečným výstupem výukového programu bude víceúčelový disk DVD (Digital Versatile Disc) s obsahem webových stránek, prezentací a videí.

6.2 Tvorba internetových stránek

Pro tvorbu webových stránek jsem si zvolil program NVU (N-view), který patří mezi WYSIWYG („What you see is what you get“) editory, česky „co vidíš, to dostaneš“. Tato zkratka označuje způsob editace dokumentů v počítači, při kterém je verze zobrazená na obrazovce vzhledově totožná s výslednou verzí dokumentu. Jeho hlavní předností je rychlejší tvorba obsahu webu a nevyžaduje hlubší znalosti programování internetového protokolu HTML. Zahrnuje v sobě také editor kaskádových stylů, díky čemuž je možno snadno formátovat výsledné webové stránky. Nvu je distribuováno zdarma a můžete ho využívat v libovolném počtu kopií. [6]

6.3 Tvorba prezentací

Nástrojem pro tvorbu jednotlivých prezentací jsem si zvolil program Microsoft Power Point, který je součástí balíku Microsoft Office. Vybral jsem si ho kvůli tomu, že jsem s ním již mnohokrát pracoval a jeho ovládání je poměrně snadné. Prezentace se skládají z mnoha jednotlivých stránek neboli snímků, anglicky "slide". Snímky mohou obsahovat texty, grafiku, zvukové stopy, videozáznamy a jiný další multimediální obsah. Prezentace se většinou zobrazují živě na počítači nebo projektoru. Samotnou prezentaci obsahu je

možno načasovat tak, že se snímky postupně zobrazují automaticky, ale ve větší míře se využívá ručního spuštění snímků pomocí myši nebo laserových ukazovátek.

6.4 Letová simulace

Historický vývoj letového simulátoru Microsoft Flight Simulator 2004 byl předznamenán jeho první verzí Flight Simulator 1, která vyšla již v roce 1980. Od vydání první verze této počítačové simulace již uplynulo přes třicet let. Zakladatelem simulátoru byl mladý absolvent illinoiské univerzity Bruce A. Artwick, který byl zároveň také spoluzakladatelem vývojového studia subLOGIC. Série tohoto simulátoru patří mezi nejdelší ve světě počítačových her.

Flight simulator 2004 byl vytvořen ke stému výročí létání, což lze také vyvodit z podnázvu A Century of Flight. Byl vydán v roce 2003 a je znám také pod označením FS9. Zahrnuje 9 historický letadel jako je například Curtiss Jenny, Piper Cub nebo první poháněný letoun bratří Wrightů Flyer. Hra obsahuje přes dvacet tisíc letišť z celého světa a graficky velmi dobře propracovaných scénérií, jako například Grand Canyon, Mount Everest a další. Zahrnuje v sobě také řízení letového provozu, hlasy pilotů a dispečerů. [8]

Simulátor je zpracován na velmi dobré úrovni, ale v oblasti chování letounu z fyzikálního hlediska není dopracován dostatečně. Příkladem může být chování letounů při vysazení motorů a jeho následná časová výdrž, která je značně prodloužena nebo chování v mezních situacích vývrtky. K dispozici je také možnost dohrávání modelů letounů a jejich barevných úprav, scénérií letišť a programů pro reálné zpracování aktuálního počasí.

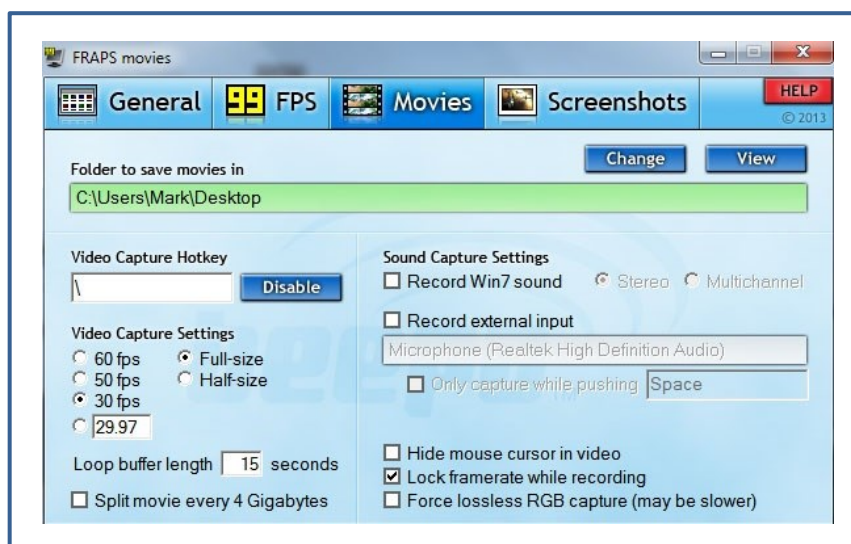
Využití simulátoru je také možno ve spolupráci s celosvětovou internetovou sítí vatsim.net nebo sítí ivao.aero, díky které je možné si vyzkoušet velmi věrné postupy a simulace z oblasti reálného letectví, především komunikaci mezi pilotem a řídícím letového provozu.

6.5 Záznam letové simulace a úprava videa

Vytvoření videozáznamu jsem provedl pomocí programu pro snímání obrazovky počítače Fraps. Jeho uživatelské rozhraní je velmi jednoduché a přehledné. S jeho pomocí je možno vytvářet jednotlivé snímky obrazovky nebo videozáznamy. V rohu obrazovky program ukazuje počet snímků za sekundu ve formě číslic. Jeho nevýhodou je nepříliš

dobrá komprimace videa, které má velmi velkou kapacitu. Nutné je tak převedení výsledného záznamu na přijatelnou velikost pro uložení nebo publikaci na webu.

Úpravu videozáznamu jsem provedl v programu Windows Live Movie Maker, ve kterém je možno jednotlivé záznamy sestříhat, přidávat do videa texty, různé efekty nebo zvukovou stopu. Následně je možno video publikovat na sociálních sítích či webech pro sdílení videa.



Obr. 6.5.1 Uživatelské rozhraní programu Fraps

6.6 Vytvoření výukového disku

K tvorbě samotného výstupního média mé práce jsem využil programu Windows DVD Maker, ve kterém je možno vytvářet disky DVD. Ty lze poté sledovat v počítači nebo na televizi použitím běžného přehrávače DVD. Rozhraní programu je uživatelsky přívětivé a jako další možnost je zde před vypálením přizpůsobit nabídku disku DVD a texty nabídky. Vytvoříte si tak vlastní disk s požadovaným vzhledem. Program je zahrnut v systému Windows 7 Home Premium. [7]

7. Závěr

Smyslem zabezpečovací techniky je maximální zvýšení bezpečnosti letového provozu ve vzdušném prostoru, zpřehlednění pohybu letadel, jejich vzájemná komunikace a přesná navigace. V současnosti se vývoj v této oblasti letectví zaměřuje na vytváření nové generace systémů, jejichž snahou je přestup od využívání pozemních prostředků z oblasti navigace, komunikace a sledování ke globálním satelitním systémům. Tyto technologie umožní zkrácení letových tras, ušetření času a paliva, snížení dopravních zpoždění nebo zvýšení kapacity vzdušného prostoru. Kontrolorům letového provozu usnadní nová generace sledovacích systémů monitorování a řízení letadel s ještě vyšší mírou bezpečnosti provozu.

7.1 Zhodnocení dosažených cílů

Tento zpracovaný výukový program usnadní studentům cestu problematikou zabezpečovací letecké techniky využívané v letectví pro navigaci, přiblížení k letišti a sledování letadel pomocí prostředků, jimiž jsou naváděna dle letového plánu službou letového provozu.

V teoretické části práce jsem vycházel z vlastních zkušeností při studiu a snažil se seskupit kapitoly tak, aby student byl předem teoreticky připraven a rozuměl používaným fyzikálním principům, které se uplatňují v letecké zabezpečovací technice. Dle mého názoru jsem dostatečně výstižně a jednoduše popsal jednotlivé technické systémy, pro lepší pochopení jsem do práce zařadil větší množství obrázků a zjednodušených schémat k daným tématům.

Praktickou část své práce jsem pojal multimediální formou, vytvořený obsah jsem převedl do prezentací a na webové stránky. DVD disk obsahuje prezentace ve formě videí a letovou ukázkou na přiblížení pomocí systému ILS. Považuji jakékoliv zpestření výuky jinou formou za zábavnější než strohý výklad, samozřejmě také záleží na ústním podání výkladu přednášejícího a jeho schopnosti zaujmout studenty vlastními zkušenostmi a poznatky z praxe. Vedení dialogu mezi studenty a vyučujícím během prezentace výuky považuji také za přínosné.

Seznam zdrojů

- [1] KULČÁK, Ludvík. Zabezpečovací Letecká Technika. Žilina: Žilinská Univerzita / EDIS - vydavatelstvo ŽU, 1999. ISBN 80-7100-585-3.
- [2] NDB. [Http://www.vacc-cz.org](http://www.vacc-cz.org): IFR postupy + komunikace [online]. 2011, [cit. 2014-03-01]. Dostupné z: <http://www.vacc-cz.org/wiki/index.php/NDB>
- [3] KRISTEK, Jaroslav. ŘLP ČR s.p. Letecká navigace. II. Praha, 1998.
- [4] KRATOCHVÍL, Petr. Radionavigační prostředky v letectví 1. [Http://www.flymag.cz/](http://www.flymag.cz/) [online]. 2013, č. 5 [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://www.flymag.cz/article.php?id=8369>
- [5] GROTZ, Ladislav. Učebnice pilota 2011: pro žáky a piloty všech druhů letounů a sportovních létajících zařízení, provozujících létání jako svou zájmovou činnost. 1. vyd. Cheb: Svět křídel, 2011, 716 s. ISBN 978-80-86808-90-1.
- [6] [Www.net2.com](http://www.net2.com). Nvu Web Authoring Software [online]. 2010 [cit. 2014-03-24]. Dostupné z: <http://net2.com/nvu/faq.html#whatis>
- [7] [Windows.microsoft.com](http://windows.microsoft.com). Windows: Podpora [online]. 2014 [cit. 2014-03-24]. Dostupné z: <http://windows.microsoft.com/cs-cz/windows7/burn-a-dvd-video-disc-with-windows-dvd-maker>
- [8] [Abecedaher.cz](http://www.abecedaher.cz): Návod. Flight Simulator 2004: A Century of Flight [online]. 2005 [cit. 2014-03-24]. Dostupné z: http://www.abecedaher.cz/index.php?page=navod&page2=zobrazit&id_hry=0000005451
- [9] Komunikace v oblacích. In: KELLY, Emma a Ludmila ZRZAVECKÁ. Flight International [online]. 2001 [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: http://edice.cd.cz/edice/IZD/izd11_01/Komunika.pdf
- [10] AIC A 1/12: Koncepce rozvoje navigačního prostředí České republiky v období do roku 2020. In: [Http://lis.rlp.cz](http://lis.rlp.cz) [online]. 2012 [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: http://lis.rlp.cz/ais_data/aic/data/a_2012-001.pdf
- [11] KRATOCHVÍL, Petr. Quo Vadis ADS-B ?. [Http://www.flymag.cz](http://www.flymag.cz) [online]. 2013, č. 10 [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: <http://www.flymag.cz/article.php?id=9063>

- [12] Řízení letového provozu ČR, s.p. [Http://www.rlp.cz](http://www.rlp.cz): ATM Systémy [online]. 2013 [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: <http://www.rlp.cz/sluzby/ATMSystemy/Stranky/default.aspx>
- [13] Transpondéry (odpovídače). WWW.ADS-B.CZ [online]. 2014, č. 55 [cit. 2014-04-23]. Dostupné z: <http://www.ads-b.cz/?p=55>
- [14] CSR & Environmental Activities. [Http://www.ana.co.jp](http://www.ana.co.jp) [online]. 2012 [cit. 2014-04-23]. Dostupné z: http://www.ana.co.jp/eng/aboutana/corporate/csr/reading/images/image02_04.gif
- [15] Šíření rádiových signálů. Český radioklub [online]. 2006 [cit. 2014-04-25]. Dostupné z: <http://www.crk.cz/CZ/SIRENIC>
- [16] SVOBODA, Emanuel. Přehled středoškolské fyziky. 2. vyd. Praha: Prometheus, 1996, 497 s. ISBN 80-719-6006-3.
- [17] Nature of Radiation. [Http://www.ndt-ed.org](http://www.ndt-ed.org) [online]. 2010 [cit. 2014-04-25]. Dostupné z: http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/RadiationSafety/Graphics/elec_mag_field.gif
- [18] Wave Interactions in Optical Interference. [Http://www.micro.magnet.fsu.edu](http://www.micro.magnet.fsu.edu) [online]. 2014 [cit. 2014-04-25]. Dostupné z: <http://www.micro.magnet.fsu.edu/primer/java/interference/waveinteractions/wavesjavafigure1.jpg>
- [19] Mykos - mikrovlny. [Http://www.mykos.cz/](http://www.mykos.cz/) [online]. 2012 [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: <http://www.mykos.cz/files/cc11cf6d92.gif>
- [20] Pakistan defence. [Http://defence.pk](http://defence.pk) [online]. 2014 [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: <http://defence.pk/threads/british-attempt-to-defeat-chinese-counter-stealth-radar.303783/>
- [21] Refining Sound: Chapter 3. Oxford University Press [online]. 2013 [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: http://global.oup.com/us/companion.websites/fdscontent/uscompanion/us/static/companion.websites/9780199922963/images/AM_FM.gif

- [22] JALOVECKÝ, Martin a Jan ABRAHAM. Navigace. Brno: CERM, 2002, 185 s. Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů ATPL(A) dle předpisu JAR-FCL 1. ISBN 80-720-4246-7.
- [23] VOR. [Http://www.vacc-cz.org](http://www.vacc-cz.org): IFR postupy + komunikace [online]. 2011, [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: <http://www.vacc-cz.org/wiki/index.php/Soubor:VOR.JPG>
- [24] VOR - What is it?. [Http://kwos-iz0qwm.blogspot.cz](http://kwos-iz0qwm.blogspot.cz) [online]. 2013 [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: http://4.bp.blogspot.com/-vL_Jm2Ff9rw/UbS4ToyzjII/AAAAAAAAAEE/nvnbWR96nlU/s320/Figure-42_thumb.png
- [25] Wind, Sand, and Stars: Learning to Fly. [Http://rrtr.wordpress.com/](http://rrtr.wordpress.com/) [online]. 2010 [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: <http://rrtr.files.wordpress.com/2010/12/vor-cdi.jpg>
- [26] The simple image sharer. [Http://i.imgur.com/](http://i.imgur.com/) [online]. 2012 [cit. 2014-05-01]. Dostupné z: <http://i.imgur.com/qPLviQZ.jpg>
- [27] League of extraordinary technicians. [Http://leagueofextraordinarytechnicians.wikispaces.com](http://leagueofextraordinarytechnicians.wikispaces.com) [online]. 2011 [cit. 2014-05-01]. Dostupné z: <http://leagueofextraordinarytechnicians.wikispaces.com/file/view/Fig8.png/276827656/Fig8.png>
- [28] League of extraordinary technicians. [Http://leagueofextraordinarytechnicians.wikispaces.com](http://leagueofextraordinarytechnicians.wikispaces.com) [online]. 2011 [cit. 2014-05-01]. Dostupné z: <http://leagueofextraordinarytechnicians.wikispaces.com/file/view/Fig6.jpg/276827542/Fig6.jpg>
- [29] Distance Measuring Equipment – Operation. League of extraordinary technicians [online]. 2011 [cit. 2014-05-01]. Dostupné z: <http://leagueofextraordinarytechnicians.wikispaces.com/file/view/Fig1.jpg/276825518/Fig1.jpg>
- [30] DME. [Http://www.vacc-cz.org](http://www.vacc-cz.org): IFR postupy + komunikace [online]. 2011, [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: <http://www.vacc-cz.org/wiki/images/thumb/d/d0/DME.JPG/800px-DME.JPG>

- [31] WWW.ADS-B.CZ: Radionavigační prostředky VOR / DME / ILS. [Http://www.ads-b.cz](http://www.ads-b.cz) [online]. 2014 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <http://www.ads-b.cz/wp-content/uploads/2014/02/ILS-500x375.jpg>
- [32] Letecké radionavigační systémy. [Http://viditelnykocour.inet-box.cz](http://viditelnykocour.inet-box.cz) [online]. 2005 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: http://viditelnykocour.inet-box.cz/viditelny_kocour/fs/school/school/nav/nav4.JPG
- [33] Radar Basics - Antennae with Cosecant Squared Pattern. Radartutorial.eu [online]. 2013 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <http://www.radartutorial.eu/06.antennas/pic/vertical.print.png>
- [34] File:Ssr_coelpin.jpg - Wikimedia Commons. Wikimedia Commons [online]. 2006 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/32/Ssr_coelpin.jpg
- [35] GARMIN GTX 320A TRANSPONDER. Aircraft Spruce and Specialty Co. [online]. 2006 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <http://www.aircraft-spruce.com/catalog/graphics/gtx320.jpg>
- [36] Boeing 737 NG Systems Summary [Flight Instruments]: SMARTCOCKPIT.COM. In: [online]. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://www.smartcockpit.com/download.php?path=docs/&file=b737ng-flight-instruments.pdf>
- [37] Prezentace vybrané fotogalerie. ŘLP [online]. 2014 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <http://www.rlp.cz/spolecnost/tisk/Fotogalerie/IATCC%20Jene%C4%8D/s%C3%A1l%20%C5%99%C3%ADzen%C3%AD%20letov%C3%A9ho%20provozu%201.jpg>
- [38] Chapter: "Radar Indicators". Radartutorial.eu [online]. 2006 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <http://www.radartutorial.eu/12.scopes/sc01.en.html>
- [39] Graphics. Peter Benney's Weather Pages [online]. 2006 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <http://www.polarorbiter.co.uk/Graphics/Squawk2.jpg>
- [40] FRL Radar Display with SSR. Ronaldsway Air Traffic Control in the 1990s [online]. 2013 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <http://www.island-images.co.uk/ATC/zRon1990s/FRL%20Watchman%204.jpg>

Seznam obrázků

<i>Obr. 2.1 Schéma členění zabezpečovací letecké techniky</i>	13
<i>Obr. 2.5.1 Prostorová navigace oproti navigaci pomocí VOR [14]</i>	15
<i>Obr. 2.5.2 Schéma práce systému ADS-B [13]</i>	16
<i>Obr. 3.1.1 Šíření elektromagnetických vln [17]</i>	18
<i>Obr. 3.1.2 Interference vlnění [18]</i>	18
<i>Obr. 3.1.3 Způsoby šíření rádiových vln [20]</i>	20
<i>Obr. 3.1.4 Spektrum elektromagnetického záření [19]</i>	20
<i>Obr. 3.2.1 Sdělovací soustava</i>	21
<i>Obr. 3.2.2 Obecné schéma vysílače</i>	22
<i>Obr. 3.2.3 Frekvenční a amplitudová modulace [21]</i>	22
<i>Obr. 3.2.4 Ukázka některých typů antén</i>	23
<i>Obr. 3.2.5 Obecné schéma rozhlasového přijímače</i>	23
<i>Obr. 3.2.6 Demodulace vysokofrekvenčního signálu (a – modulovaný signál, b – usměrněný signál, c – nízkofrekvenční signál)</i>	24
<i>Obr. 3.2.7 Zjednodušené schéma superheterodynového přijímače</i>	25
<i>Obr. 4.1.1 Schéma rozdělení radionavigačních prostředků</i>	26
<i>Obr. 4.2.1 Nesměrový radiomaják NDB RADA 534 kHz (Ostrava LKMT, vlastní fotografie)</i>	28
<i>Obr. 4.2.2 Schéma nesměrového radiomajáku</i>	29
<i>Obr. 4.2.3 Palubní vybavení ADF (vlevo) a RMI (vpravo), kursový úhel radiostanice [4],[36]</i>	31
<i>Obr. 4.2.4 Radionavigace pomocí NDB [2]</i>	32

<i>Obr. 4.3.1 Všesměrový radiomaják VOR/DME OTA 117,45 MHz (Ostrava LKMT, vlastní fotografie)</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 4.3.2 Schéma funkce vysílače a přijímače VOR</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 4.3.3 Fázový rozdíl mezi signály VOR [24]</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 4.3.4 Radiomagnetický ukazatel RMI (vlevo), indikátor traťové odchylky CDI (vpravo) a indikátor situace v horizontální rovině HSI (dole) [25], [36], [26]</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 4.3.5 Navigační radiomaják DVOR [26]</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 4.3.6 Radionavigace pomocí VOR/CDI [23]</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 4.4.1 Rozdíl mezi šikmou a vodorovnou vzdáleností [27]</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 4.4.2 Pozemní část systému DME (vlastní fotografie)</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 4.4.3 Principiální schéma systému DME</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 4.4.4 Celková doba cesty signálů DME [28]</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 4.4.5 Dotazovač (přijímač/vysílač) DME [29]</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 4.4.6 Navigační a funkční princip systému DME [30]</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 4.5.1 Rozmístění jednotlivých prvků ILS v okolí RWY [31]</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 4.5.2 Anténní systém LLZ (vlastní fotografie, Ostrava LKMT RWY 22)</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 4.5.3 Sestupový maják GP (vlastní fotografie, Ostrava LKMT)</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 4.5.4 Osvětlení indikace přesné sestupové roviny PAPI (vlastní fotografie)</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 4.5.5 Vyzařovací charakteristika LLZ (vlevo) a GP (vpravo)</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 4.5.6 Schéma přijímače kurzového majáku a indikace odchylek na elektronickém primárním letovém displeji (zdroj: Flight Simulator 2004)</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 4.5.7 Popis průběhu přiblížení na ILS [32]</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 4.5.8 Sledovací anténa kurzového paprsku LLZ (vlastní fotografie)</i>	<i>52</i>

<i>Obr. 5.1 Rozdělení sledovacích systémů podle použité techniky a součinnosti</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 5.2.1 Primární přehledový radar, Ostrava LKMT (vlastní fotografie)</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 5.2.2 Princip primární radiolokace.....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 5.2.3 Blokové schéma primárního radaru.....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 5.2.4 Ukázka diagramu vertikálního krytí radarového prostoru [33]</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 5.3.1 Sekundární radar SSR [34]</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 5.3.2 Princip sekundární radiolokace</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 5.3.3 Blokové schéma sekundárního radaru</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 5.3.4 Palubní odpovídač (SBY – pohotovostní režim, ALT – mód identifikace + výška, IDENT – jednorázový zesílený puls na vyžádání, pro informování kontroly řízení) [35] ...</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 5.4.1 Některé typy zobrazovacích jednotek radarů [38]</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 5.4.2 Moderní zobrazovací terminál služeb řízení letového provozu (oblastní řízení) [37]</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 5.4.3 Analogové zobrazení radarové informace [40]</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 5.4.4 Syntetické zobrazení radarové informace [39]</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 6.5.1 Uživatelské rozhraní programu Fraps</i>	<i>69</i>

Seznam příloh

- Příloha A – DVD s výukovým programem